Marseille 1967

ANNALES
DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN

1969 SÉRIE E ·II· FASCICULE 3

LES PEUPLEMENTS DE MADRÉPORAIRES DES COTES TROPICALES DU BRÉSIL

par

J. LABOREL

1967

ECOLOGIE

Cet ouvrage a fait l'objet d'une soutenance de thèse, pour l'obtention du titre de Docteur ès Sciences Naturelles, devant un jury de la Faculté des Sciences de Marseille.

Composition du Jury :

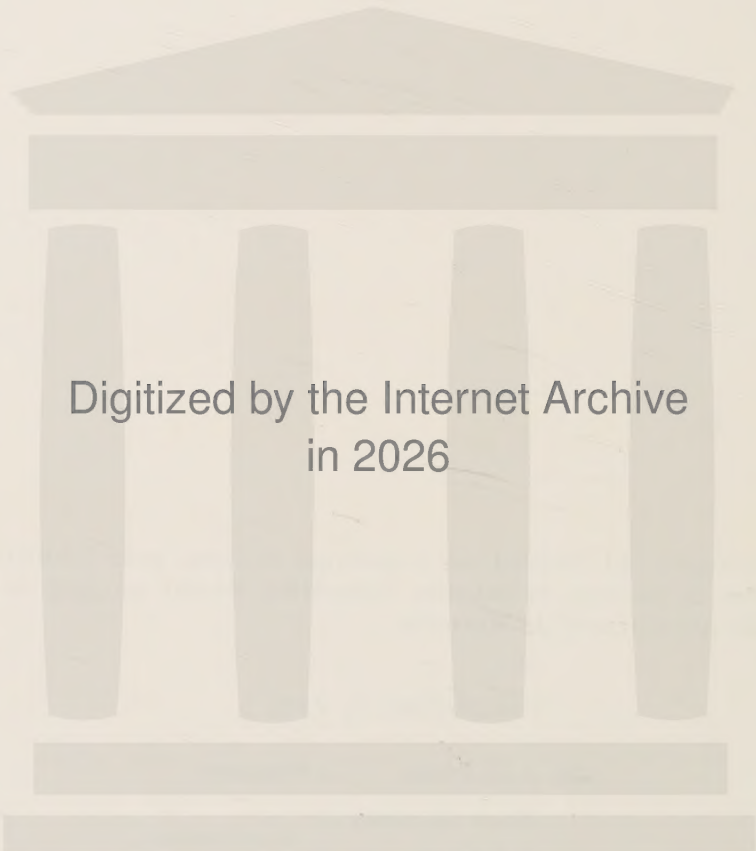
MM. J.-M. PÉRÈS : Président

Roger MOLINIER, J.-J. BLANC : Examinateurs

F. OTTMANN : Invité

Le 21 décembre 1967.

N° d'enregistrement au C.N.R.S. : AO. 1856.


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545823_0044

LES PEUPLEMENTS DE MADRÉPORAIRES DES CÔTES TROPICALES DU BRÉSIL

ANNALES DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN
1969 - SERIE E - II - FASCICULE 3

LES PEUPLEMENTS DE MADRÉPORAIRES DES CÔTES TROPICALES DU BRÉSIL

par

J. LABOREL

ECOLOGIE

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction
par tous procédés, y compris la photographie
et le microfilm, réservés pour tous pays.
© Université d'Abidjan, 1970
Imprimé en France

Aos jangadeiros do Nordeste dedico este trabalho.

INTRODUCTION

La faune marine littorale des côtes tropicales du Brésil était jusqu'à ces dernières années particulièrement mal connue et il en était de même pour la flore.

Peu d'expéditions océanographiques avaient en effet travaillé dans cette région : les récoltes du « Challenger » (1873) concernaient surtout la faune profonde, quant aux autres expéditions, elles n'avaient, le plus souvent, récolté du matériel qu'à l'occasion d'escales rapides. C'est ainsi que l'U. S. Exploring Expedition avait rapporté de son passage à Rio-de-Janeiro quelques Actiniaires et Madréporaires étudiés par Dana (1846), de même, le « Beagle » effectuait une escale à Recife, 1836, permettant à Darwin de donner une première description du récif de grés qui protège le port. Notons également le voyage des naturalistes allemands Von Spix et Von Martius (1828) qui décrivent les formations coralliennes de la région de Camamu, ainsi que l'expédition anglaise à Fernando de Noronha sous la direction de Ridley (1887).

Les résultats de ces explorations ayant naturellement un caractère fragmentaire, il appartenait à C. F. Hartt de publier pour la première fois une étude détaillée des formations coralliennes des côtes du Brésil (1870). Le matériel récolté par ce pionnier de la géologie brésilienne, doublé d'un remarquable observateur très ouvert aux problèmes biologiques, fut décrit par A. E. Verrill en deux publications (1868 et 1902) qui furent suivies ultérieurement par plusieurs notes de R. Rathbun (1876, 1878, 1879) et de T. W. Vaughan (1906), complétant l'étude systématique des Madréporaires. Parallèlement à ces travaux un autre géologue, J. C. Branner étudia pour la première fois de façon très détaillée les récifs de grés et établit leurs rapports avec les récifs coralliens avec lesquels ils étaient généralement confondus (1904).

Les Gorgonaires, également étudiés par Verrill (1912) à partir des récoltes de Hartt, ont été récemment révisés par Bayer (1961), Citons enfin quelques notes de Matthai (1919) et Boschma (1948, 1961, 1962) toujours basées sur des récoltes anciennes. Il apparaît donc qu'aucune étude suivie des Madréporaires brésiliens n'a été effectuée depuis près d'un siècle et que la plupart de nos connaissances sur la morphologie et le peuplement des récifs découlent des observations de Hartt effectuées il y a tout juste cent ans.

L'installation des premiers organismes Océanographiques brésiliens, en particulier celui de São Paulo, le plus ancien et l'un des plus actifs, fit rapidement progresser la connaissance de la faune marine; cependant, les premiers laboratoires étant tous situés au Sud de Cabo Frio, dans une région aux eaux déjà refroidies et privées d'une grande partie des espèces tropicales; une grande partie des côtes restait en dehors de la zone prospectée.

La création, en 1958, de l'Institut Océanographique de Recife sous la direction de M. le Professeur Ottmann marque donc une date importante dans l'histoire de la biologie marine brésilienne. En même temps les études de zoologistes comme M. Vannuci, L. R. Tommasi, D. D. Correia, L. Forneris, E. R. da Costa, M. Kempf pour n'en citer que quelques-uns et d'algologues comme A. B. Joly sont en train de faire rapidement progresser la connaissance de la faune et de la flore. D'assez nombreux groupes n'ont pas encore été étudiés ou l'ont été insuffisamment et il reste un travail considérable à effectuer. Espérons que les efforts des Universités et du Conseil National de la Recherche (C.N. Pq) réussiront à mener à bien ce programme.

Lors de notre premier contact avec les peuplements de la région de Recife nous avions été frappés par leur pauvreté apparente, une dizaine d'espèces de Madréporaires seulement formaient une population clairsemée sur des récifs assez épais et bien différenciés morphologiquement, et qui, visiblement, avaient dû connaître récemment une période beaucoup plus prospère. De nombreuses espèces, signalées des Abrolhos étaient également absentes. Il apparut rapidement que nous ne pouvions nous limiter à une étude locale et qu'il convenait de nous orienter vers une révision, à l'échelle des côtes brésiliennes, des Madréporaires et des peuplements qu'ils constituent. Une telle étude ne pouvait être seulement biologique; trop de problèmes se posaient qui n'étaient pas du ressort du seul biologiste. Nous avons donc décidé qu'il importait, au moins provisoirement, de considérer le phénomène corallien dans son ensemble, ce qui impliquait un assez grand développement de la partie descriptive.

Cette étude paraissait intéressante malgré le handicap de la longueur considérable (plus de 3 000 km) des côtes à étudier et la modicité de nos moyens financiers et techniques pour plusieurs raisons : tout d'abord la répartition des Madréporaires était très mal connue de nombreux récifs, en particulier le groupe du Cap São Roque n'ayant jamais encore été étudiés; d'autre part, il nous fut rapidement donné de rectifier de nombreuses erreurs dans les cartes marines et dans certains travaux de nos devanciers : récifs

— En raison de l'importance des travaux de Hartt et Brannner la citation de leur nom sans date de référence dans le texte renvoie à leur ouvrage principal (Hartt, 1870; Branner, 1904).

de coraux décrits comme récifs de grés et inversement. Quant aux cartes marines, à l'exception de celles, rares, qui sont basées sur la photographie aérienne (et qui ne sont pas exemptes d'erreurs d'interprétation), elles déforment complètement l'allure de la côte et des récifs, signalent des hauts-fonds inexistants et se révèlent inutilisables sur le terrain.

Le survol de la côte en avion léger nous permit de préciser les rapports entre récifs et bancs de grés qui avaient déjà été en partie vus par Branner, nous amenant à reconnaître une répartition périodique de ces formations (Laborel, 1965). L'étude des platiers et des pointement rocheux du littoral nous montra également l'importance des oscillations récentes du niveau marin, déjà notées par Branner (Van Andel et Laborel, 1964), sur l'émersion des récifs et la vitalité de leurs peuplements. Enfin le rôle constructeur considérable des Mélobésiées et des *Vermetidae* (Kempf et Laborel, 1967) mériterait une étude détaillée.

En ce qui concerne la systématique des Madréporaires et leur écologie ,bien que nous n'ayons pu pour des raisons techniques nous livrer à des études expérimentales il nous fut possible, au cours de plusieurs années de recherches sur le terrain et grâce aux collections obligeamment confiées par M. le Professeur Forest et par M. M. Kempf, de délimiter l'aire de répartition de chaque espèce avec précision, aussi bien horizontalement que verticalement ainsi que sa place sur le récif. Ces données d'ordre zoogéographiques se sont révélées utiles pour la discrimination de certaines espèces, permettant de vérifier les résultats de l'étude des caractères squelettiques. Enfin le fort endémisme des Madréporaires et leur parenté avec des formes anciennes posaient des problèmes intéressants que nous avons essayé de résoudre.

En résumé c'est une étude très générale que nous avons été amené à entreprendre et qui nous a paru se justifier par le peu de données préexistantes sur cette région. Nous n'ignorons pas les limites et les embûches d'une telle étude qui aurait nécessité, en bonne logique, le travail d'une équipe de plusieurs chercheurs de disciplines différentes. Dans bien des cas nous avons pu mettre en évidence des problèmes qu'il ne nous était pas possible de résoudre, soit par manque de moyens, soit parce qu'ils auraient nécessité la collaboration d'un spécialiste. Nous espérons donc que ce travail constituera une base de départ pour des travaux ultérieurs.

Nous remercions ici tous ceux qui nous ont aidé au cours des nos recherches et qu'il n'est pas possible de citer nommément, notre reconnaissance va en particulier à M. les Professeurs J. M. Peres, J. J. Blanc, Roger Molinier et F. Ottman qui ont bien voulu accepter de juger ce

travail; aux directeurs successifs et au personnel de l'Institut Océanographique de l'Université de Récife, au Commandant Paulo Moreira da Silva, à mes amis Henrique Rodriguez da Costa et Marc Kempf et enfin à ma femme sans l'aide constante de laquelle ce travail n'aurait jamais vu le jour.

CONDITIONS ET METHODES DE TRAVAIL

Le caractère général de l'étude entreprise supposait de fréquents déplacements le long des côtes brésiliennes.

Nous avons eu tout d'abord la chance de pouvoir participer à la campagne 1962 de la « Calypso » entre Santos et Recife, qui nous a permis d'effectuer des plongées sur les bancs et les récifs de la région des Abrolhos; les récoltes réalisées (jointes à celles de la première partie de la Mission, que M. le Professeur J. Forest a eu la gentillesse de nous faire parvenir) ont servi de base pour notre révision des Madréporaires.

Au cours des années suivantes nous nous sommes attachés à l'étude des côtes du Nordeste entre Cabedelo et Maceio, accomplissant quelques déplacements, en compagnie de notre camarade Marc Kempf à Fernando de Noronha, Rocas et aux Abrolhos, grâce à l'aide de la Marine et de la Force aérienne brésilienne.

Une subvention de l'Université de Recife nous permit de travailler à Fortaleza (Ceará), sur les récifs du Cap São Roque et dans la région de Natal.

Le Symposium sur l'Atlantique Sud Tropical, tenu à Rio en septembre 1964 fut l'occasion d'un autre voyage d'étude (côtes des Etats de Bahia, Espiritú Santo, Rio de Janeiro).

Nous avons pu enfin, grâce à une invitation du Centro de Estudos Zoológicos de la Faculté de Philosophie de l'Université de Rio de Janeiro et à une mission du Ministère des Affaires étrangères, aborder l'étude de la Baie de tous les Saints et des côtes des Etats de São Paulo et Rio de Janeiro au cours de l'hiver 1966-1967.

Nous avons d'abord essayé (en particulier dans la région de Recife) de reconstituer, en l'absence de documents précis, la topographie des formations étudiées au moyen de l'observation terrestre et surtout aérienne. Plusieurs vols en avion léger avec prise de vues obliques nous ont été d'un grand secours; certains secteurs ont été également étudiés à bord d'avions de lignes régulières.

A partir de ces observations nous avons effectué des radiales sur les récifs (en des endroits identifiés sur photo aérienne dans la mesure du possible) apportant un soin particulier à l'étude des

parties immergées; en particulier les pentes externe et interne, les bancs coralliens et les fonds durs de la plateforme jusqu'à une profondeur d'une cinquantaine de mètres.

Nous avons également cherché à retrouver les affleurements des formations gréseuses ou coralliennes récentes enfouies sous les sédiments littoraux actuels.

Cette reconnaissance topographique est bien entendu doublée d'une étude biologique. Les difficultés d'ordre systématique (l'isolement biogéographique des côtes tropicales brésiliennes est en effet très sensible et de nombreux groupes, mal étudiés, sont susceptibles de comporter une assez forte proportion d'endémiques; un travail de révision est donc presque toujours nécessaire et l'identification d'un animal à une espèce caraïbe doit être soumise à vérification par un spécialiste) nous ont conduit à limiter notre inventaire à la faune de Madréporaires, les Gorgonaires ont été également étudiés avec l'aide du Dr F. G. Bayer, M. M. Kempf a bien voulu nous déterminer les Echinides, assez peu nombreux d'ailleurs, les autres groupes n'ont pu être étudiés dans le cadre de ce travail:. Diverses collections d'Invertébrés ont été envoyées à un certain nombre de spécialistes qui les étudieront au fur et à mesure des possibilités; il était d'ailleurs impossible, pour des raisons matérielles évidentes, d'effectuer des récoltes faunistiques et floristiques complètes sur toute la longueur des côtes étudiées (plus de 3 500 km).

La zonation des Madréporaires et des Gorgones sur le récif, leur distribution géographique, leurs réactions aux variations des conditions écologiques, dans la mesure où ces dernières peuvent être évaluées subjectivement, enfin l'histoire récente de l'évolution des peuplements récifaux et des récifs, tels ont été finalement les problèmes abordés.

En raison de limitations matérielles un certain nombre d'études expérimentales (transplantation de Madréporaires en différents points du récifs, élevages en laboratoire, etc...) n'ont donné que des résultats partiels (dus surtout à l'absence d'aquariums) qui sont consignés dans la partie systématique de ce travail. Nous espérons que ces études pourront un jour être reprises avec des moyens moins sommaires.

En ce qui concerne la présentation, pour éviter des répétitions fastidieuses nous avons cité le nom d'auteur des diverses espèces dont il est fait mention dans le texte à l'occasion de leur première mention seulement. Nous ne citons sauf exception que le nom de genre des quelques Algues mentionnées, aucune étude monographique des Algues des côtes tropicales du Brésil n'ayant encore été publiée, à l'époque de la rédaction du présent mémoire, à part quelques notes récentes de Joly sur du matériel de la région de Fortaleza, à la limite de notre aire de travail (1965 a, b) et une liste sommaire des Algues récoltées sur les récifs de grés de Pernambuco par Williams et Blomquist (1947).

PRESENTATION GENERALE DES COTES BRESILIENNES

A) Présentation géographique.

Au premier abord, les côtes du Brésil frappent par leur direction Nord-Sud sur une longueur totale de 5 900 km et leur contour peu découpé.

Les saillants les plus notables correspondant à des changements de direction majeurs sont : le Cap São Roque par 5°, 29′ S et 35°, 15′ W et le Cabo Frio (23°, 01′ S et 42°, 00 W) entre lesquels le littoral est plus ou moins rectiligne (*fig.* 1).

Les principaux rentrants sont le Grand Golfe Amazonique situé sous l'Equateur et la région comprise entre Cabo Frio et le Cabo Santa Marta (soit entre 23° et 28° Sud) où la côte décrit un vaste arc de cercle.

Dans le détail également, on constate que le littoral est peu découpé puisque le rapport entre son périmètre et sa longueur développée totale est de 1/1,57 contre 1/3,5 pour l'Europe et 1/2 pour l'ensemble des côtes Sud-Américaines (Azevedo, 1964).

Du point de vue climatique, la plus grande partie des régions littorales est sous la dominance des vents alizés, dirigés selon les directions NE-SW et SE-NW respectivement au Nord et au Sud d'une « zone de divergence » située entre 11 et 12° de latitude Sud. Ces vents soufflent toujours avec une obliquité notable par rapport à la direction du rivage ce qui explique l'importance des phénomènes de dérive littorale.

Entre 4° N et 8° S, les alizés de NE et de SE alternent régulièrement au cours de l'année.

Les études récentes des géographes brésiliens les ont conduit à diviser les côtes du Brésil en un certain nombre de régions naturelles. Nous résumerons ici l'excellente classification due à João Dias de Silveira (in Azevedo, 1964) en la modifiant légèrement. Elle s'appuie à la fois sur des arguments physionomiques, géologiques et océanographiques. Nous verrons que nos propres résultats, établis sur des données uniquement biologiques, s'y superposent en grande partie (*fig.* 1 bis).

GUYANE Fa.
Amazone
Pa
I. Marajo
Belem
São Luiz
PARA
MARANHÃO
Rio Parnaiba
PIAUI
Equateur
Fortaleza
CEARA
Rocas
Fernando de Noro
RIO Gde do Nte
Cabo São Roque
Natal
PARAHYBA do Nte
Cabedelo
PERNAMBUCO
Recife
ALAGOAS
Maceio
SERGIPE
Aracajù
10°
Rio São Francisco
BAHIA
Salvador
Ilheus
Porto Seguro
R. Mucuri
Caravellas
Abrolhos
R. São Mateus
R. Doce
Victoria
20°
R. Parahyba do Sul
RIO DE JAN.
Cabo Frio
Rio de Janeiro
Ilha Grande
SÃO PAULO
Santos
Tropique du Capricorne
0
500 km

Fig. 1

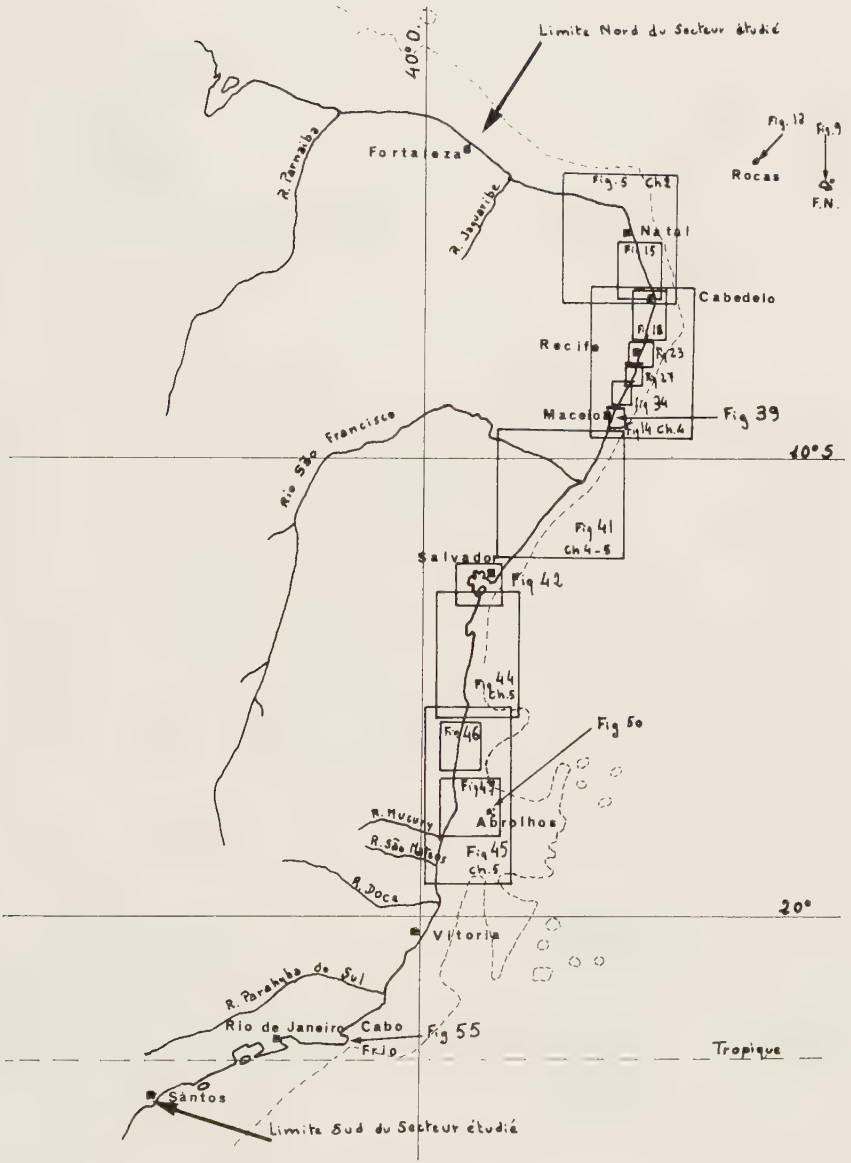


Fig. 1 bis Localisation des cartes partielles

1. — *Le littoral amazonien.*

De l'embouchure de l'Oyapock à la région de São Luiz do Maranhão s'étend une immense région sédimentaire reliant les boucliers cristallins des Guyanes et du Brésil, caractérisée par de vastes plaines alluviales basses et marécageuses, souvent bordées de mangroves. Au large de ces côtes, la plate-forme continentale est bien développée (plus de 100 km devant l'île de Marajo). On est mal fixé sur l'épaisseur des sédiments au-dessus du socle ainsi que sur les éventuels mouvements de subsidence qui peuvent affecter cette région.

On y distingue du Nord au Sud :

a) un littoral septentrional (Guyane-Amapà) qui se prolonge jusqu'à l'embouchure de l'Orénoque et fait la jonction avec la région caraïbe. Il est soumis à l'influence des eaux dessalées et des sédiments de l'Amazone et se caractérise d'après les Instructions Nautiques par une extension considérable des bancs de vase molle. Le climat est équatorial, humide, avec maximum de pluviosité en été et une saison sèche plus ou moins développée (*fig.* 2).

b) un « Golfe amazonien » incluant la grande île de Marajo, entre les deux bras de l'estuaire au débit gigantesque (plus de 200 000 m^3/s d'après des données récentes de Pardé, *in* Guilcher, 1965). La topographie de la côte est extrêmement variable dans le temps et mal connue. On y a signalé des surfaces sédimentaires récentes attribuées (Guerra *in* Azevedo) à des oscillations marines et, d'autre part, des formations calcaires miocènes (Formations Pirabas) à faune nettement marine et subrécifale dont l'étude sera certainement d'une grande importance pour la biogéographie.

c) Un littoral amazonien oriental, du Parà au Maranhão, très découpé et analogue au précédent.

Le climat s'assèche vers le Sud, avec une saison humide de plus en plus courte, ce qui entraine la présence de dunes vives.

On ne connaît ni formations coralliennes ni Madréporaires dans toute cette immense région que nous n'avons pu visiter et qui paraît avoir joué, depuis plusieurs millions d'années, le rôle d'une barrière biologique, pour les Madréporaires en particulier. Son étude est encore à faire.

2. — *Littoral Nord Oriental (Nordeste).*

De l'embouchure du Rio Parnaiba à la baie de Salvador, c'est-à-dire au Nord et au Sud du grand « saillant » du Cap São Roque, s'étend une vaste bande de littoral caractérisée par la présence

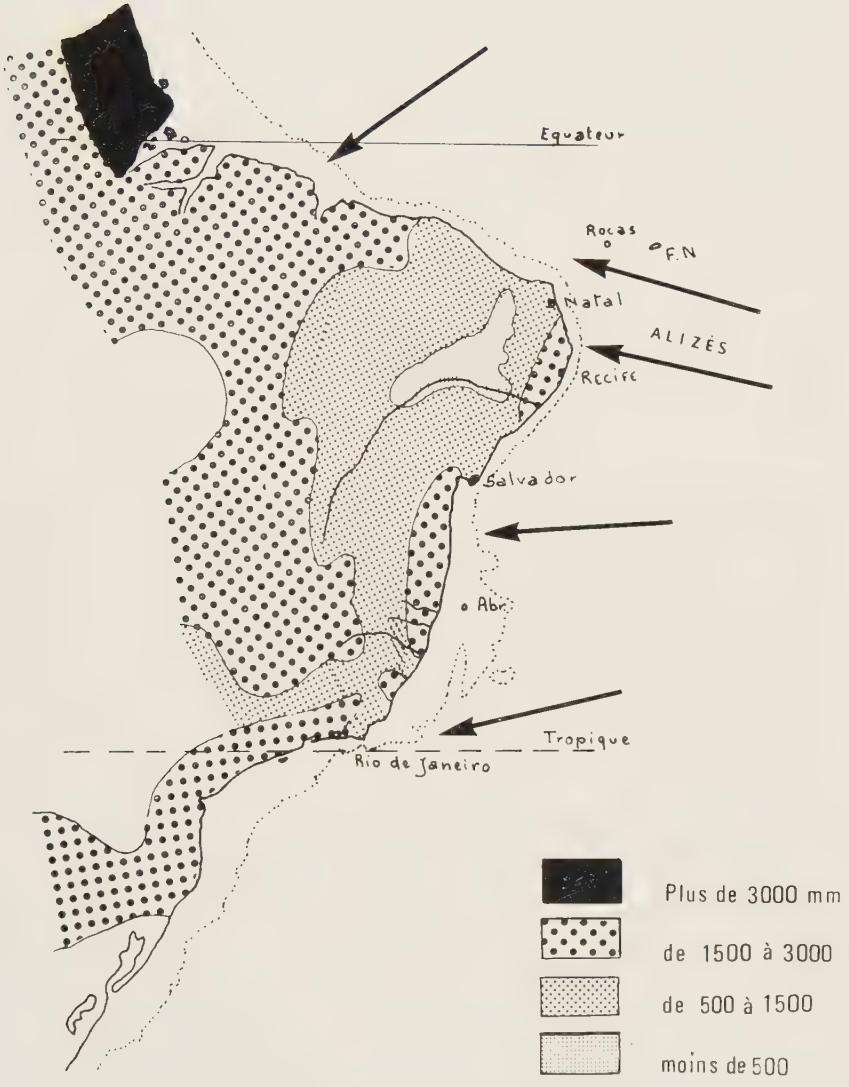


Fig. 2 Précipitations

au-dessus du socle cristallin (à nu en de nombreuses localités), d'une couche plus ou moins épaisse (jusqu'à une centaine de mètres) de sédiments argileux d'origine continentale, d'âge tertiaire supérieur (Plio-quaternaire ?) appelés série ou formation Barreiras. L'érosion marine récente a taillé de nombreuses falaises rougeâtres dans ces sédiments. Des calcaires marins crétacés ou éocènes (formations Gramame et Maria-Farinha) affleurent souvent, intercalées entre les « barreiras » et le socle, à une altitude proche du niveau marin.

Ce littoral se divise en deux parties la charnière étant le changement brusque de direction à la hauteur du Cap São Roque.

a) Région semi-aride : Ceará, Piaui, Rio Grande do Norte. La direction de la côte est Nord-Ouest-Sud-Est; la sécheresse du climat se traduit par la formation, en arrière du rivage, d'une bande de dunes vives, hautes de plusieurs dizaines de mètres, capables de barrer les cours d'eaux, temporaires et de faible débit, qui n'ont pas la force de les rompre.

La moyenne des précipitations est de 500 mm/an. La côte est rectiligne, sans indentations ni baies, le profil de la plate-forme est très plat (l'isobathe 15 m. ne se trouve parfois qu'à 15 km au large), les houles d'alizé, alternant régulièrement entre NE et SE brassent continuellement les sédiments, produisant ainsi une forte turbidité. Il existe une série de bancs profonds, très au large, encore mal connus. Les récifs sont très peu nombreux, certains ne sont même que de simples écueils côtiers ou des bancs de sable. On signale un certain nombre de récifs de grés en particulier devant l'embouchure du Rio Ceará mirim.

Du Cap São Roque à Natal s'étend une vaste bande de récifs, limitant vers l'extérieur le canal São Roque.

b) De Natal à Salvador (côte du Nordeste oriental). Le climat devient rapidement très humide (2 000 mm/an sur les côtes de Pernambuco) avec deux saisons très marquées : humide d'avril à octobre, sèche de novembre à mars, les cours d'eau sont nombreux et permanents mais de débit assez faible, les précipitations n'étant plus que de quelques 500 mm à une centaine de km à l'intérieur des terres. Le seul grand fleuve est le São Francisco, le plus long à être entièrement contenu à l'intérieur du territoire brésilien. Le débit moyen de cette rivière atteint en effet 3 000 m^3/seconde (plus de 50 % de plus que le Danube à Budapest) sa longueur totale atteint 3 000 km.

Au Sud du São Francisco on note un assèchement très sensible du climat, la côte se couvre de dunes non recouvertes par la végétation pratiquement sans interruption jusqu'à Salvador. La plate-forme est plus étroite que dans la région précédente et ne dépasse pas quelques dizaines de kilomètres, son profil est plat et les récifs sont toujours très éloignés de son rebord externe. Les récifs de grés sont très fréquents sauf entre l'embouchure du São Francisco et la Baie de Salvador.

3. — *Le littoral oriental.*

De Salvador au Sud d'Ilheus la côte est moyennement escarpée avec de nombreux affleurements cristallins, on observe ensuite une région de « barreiras » analogues à celles de la région nordestine puis de larges plaines sédimentaires dues à l'accumulation de nombreux cordons de plage successifs, sur une profondeur pouvant atteindre une dizaine de kilomètres : ce sont celles de la région de Canavieiras, de la Pointe da Baleia et des estuaires des rios Mucuri, São Mateus et Doce. Enfin, de la frontière Nord de l'état d'Espiritù Santo jusqu'à Cabo Frio s'instaure un paysage de côte rocheuse coupé de plaines sédimentaires comme celle du Rio Parahyba do Sul.

La plate-forme continentale, étroite devant Ilheùs, s'élargit brutalement à la hauteur de Belmonte sous la forme d'un plateau rectangulaire d'une quarantaine de kilomètres de large, mais c'est surtout au Sud, entre 18° et 20° S qu'elle va gagner en extension avec une largeur maximum de près de 80 km. Ce plateau sous-marin porte l'archipel des Abrolhos où se situent à la fois le maximum de développement et la limite Sud des formations coralliennes.

Au Sud du Rio Doce le rebord externe se rapproche de la côte, formant une indentation ou golfe sous-marin orienté Nord-Sud. Devant Cabo Frio l'isobathe 50 m touche le rivage.

Le climat est inégalement humide, les précipitations, faibles (500 à 1 000 mm) entre le Rio São Francisco et Salvador augmentent vers le Sud (plus de 2 000 mm à Ilheus) à tel point que le climat de cette partie du littoral a pu être qualifié de « pseudo-équatorial », une véritable forêt de type amazonien se développant sur la plaine sédimentaire du Rio Doce (G. O. de Andrade in Azevedo 1964). A partir du Sud de l'état de Bahia et surtout du Cabo São Thomé un nouvel assèchement fait de nouveau apparaître des dunes vives.

4. — *Le littoral cristallin.*

Du Sud de l'Etat d'Espiritù Santo jusqu'à l'Etat de Santa Catarina, les contreforts du « Plateau atlantique » puis de la Serra do Mar tombent de façon abrupte jusqu'à la mer, le littoral est découpé (baies profondes de Guanabarà et Angra dos Reis) avec de nombreuses îles dont les plus notables sont celles de São Sebastião et Ilha Grande.

Très étroite devant Cabo Frio, la plate-forme s'étend peu à peu vers le large entre ce cap et la région de Paranaguà où l'isobathe 100 m se trouve à plus de 100 km au large. Le climat est subtropicale, les eaux nettement plus froides.

5. — *Le littoral quaternaire méridional.*

De l'Etat de Santa Catarina à la frontière Uruguayenne court une large plaine alluviale, formée de sédiments récents avec des cordons littoraux limitant d'immenses lagunes (Lagoa dos Patos et Lagoa Mirim). Toute cette région, de climat subtropical, baignée par des eaux à influences antarctiques, est liée à la région du Rio de la Plata et sort du cadre de notre étude au même titre que la région amazonienne.

Ottmann a proposé récemment (1965) une classification universelle des côtes marines basée sur la morphologie; cet auteur qui a étudié plus particulièrement le littoral Sud américain classe les différentes parties des côtes du Brésil de la façon suivante :

Région amazonienne : type E 3 : côtes de marais et lagunes, avec mangrove.

Côtes du Nordeste : type E 4 : côtes basses avec dunes et E 5 : côtes basses avec récifs barrières ou frangeants.

Côte orientale : mixte, régions rocheuses (Type D) et sédimentaires (E).

Côte cristalline : types C et D.

Littoral méridional : type E.

B) Rappel sommaire d'océanographie physique.

— *Courants généraux.*

Les côtes Sud Américaines sont baignées par la branche méridionale du Courant Equatorial de surface qui se divise, au large du Cap São Roque, en deux rameaux divergents : au Nord le courant des Antilles, déviant les eaux de l'Amazone le long des côtes de Guyane, au Sud le courant du Brésil qui longe le continent en direction de l'Argentine. La position de la zone de divergence de ces deux courants est assez mal connue, elle oscillerait entre 8° de latitude Sud pendant l'Eté austral et 14° de latitude Sud pendant l'Hiver. De plus rappelons la découverte récente (Ponomarenko, 1965; Kolesnikov *et al.* 1966) d'un contre courant profond dirigé

d'Ouest en Est, analogue au Courant de Cromwell de l'Océan Pacifique équatorial.

S'opposant au courant du Brésil, le courant froid des Falkland (corriento de las Malvinas des Océanographes argentins) remonte les côtes de Patagonie et d'Argentine vers le Nord. La rencontre de ces deux courants est un phénomène d'une grande importance biogéographique.

Les eaux du courant du Brésil après avoir contourné l'élargissement de la plateforme continentale qui porte l'archipel et les récifs coralliens des Abrolhos, baignent les bancs au large de l'Espiritu Santo puis, à partir de Cabo Frio, dévient peu à peu vers l'Est. Des eaux chaudes s'observent cependant le long des côtes méridionales du Brésil jusqu'au Rio Grande do Sul approximativement; il s'agit d'un mélange d'eaux septentrionales, localisées en surface et d'eaux froides en provenance du courant des Falkland et de l'estuaire de la Plata, l'ensemble forme ce que les océanographes brésiliens appellent l'« eau littorale » (Moreira da Silva, 1965), qui remplit l'espace resté libre entre le continent et le courant du Brésil.

Des langues d'eaux froides semblent remonter occasionnellement au Nord de Cabo Frio. Enfin un phénomène d'upwelling se produit également sur la côte méridionale de ce Cap (Emillson, 1960).

Cette notion de mélange progressif des eaux, a, ainsi que nous le soulignerons à plusieurs reprises, une grande importance du point de vue biogéographique. La notion classique et généralement admise de « barrière froide » située à Cabo Frio cède la place à celle, beaucoup plus plausible, d'une large zone de transition s'étendant entre Vitoria do Espiritù Santo et Santos soit entre 20° et 24° de latitude Sud. C'est ainsi que l'on peut observer dans la région de Rio de Janeiro des Foraminifères d'origine antarctique (Boltovskoy, 1965).

— *Caractères physico-chimiques des eaux.*

a) *Température.* — Les eaux de surface sont chaudes sur la quasi totalité des côtes brésiliennes, les eaux littorales méridionales étant réchauffées par des apports en provenance du Nord. Depuis les Guyanes jusqu'à 20° de latitude Sud on trouve des températures de surface supérieures ou égales à 25° avec une variation annuelle faible, de l'ordre de 2 à 6°. La diminution de température en fonction de la profondeur (dans les premières centaines de mètres) est lente et régulière dans le Nord et le Nord-Est, rapide et brutale vers le Sud.

GUYANE
FR.
Branche Nord
0°
FORTALEZA
Rocas
F.N.
NATAL
RECIFE
R.S.F
Courant
Equatorial
SALVADOR
Courant du Brésil
Abr.
Rio de Janeiro
T.C.
Santos
Convergence
subtropicale
Eau littorale
URUGUAY
Courant des Malouines
Upwelling

Fig. 3

Voici quelques exemples (bathythermogrammes réalisés par la Calypso » durant l'été austral 1961-1962).

	8°22′S 34°42′W	9°11′S 35°14′W	13°07′S 38°23′W	23°12′S 42°31′W	24°43′S 45°10′W	37°26′S 54°56′W
0	26°	25°,8	25°	20°,6	23°	14°,5
10	25,5		24,9	20,4	19,8	14,2
20	25,1		24,85	19,7	19	13,5
30	25		24,80	18	16	12
40			24,20	17	15	6
50		24	23,9	16	14	5,5
60			23,7	14,4	13,7	5,4
70			23,6	13,7	13,4	5,3
80			23,7	13,4	13,3	5
90		23,8	23,2	12,7	13,2	5
100		23,5	23	11,8	13	5
110		22,7	22,5			
120		22,2	22,1			
130		21,5	20,8			
140		20	19,5			

La température demeure donc favorable à la croissance des Madréporaires à plus de cent mètres de profondeur et ce jusqu'à la latitude du Tropique du Capricorne.

b) *Salinité.* — Elevée et supérieure ou égale à 36 ‰ toute l'année dans l'ensemble de la région étudiée. Ceci ne représente bien entendu que les valeurs trouvées au large; il est évident que, à la côte, elles peuvent être considérablement modifiés sous l'influence des rivières.

La région brésilienne est comprise entre deux zones de dessalure littorale correspondant, au Nord, aux influences de l'Amazone et, au Sud (et à un moindre degré), à celle du Rio de la Plata.

c) *Oxygène dissous, phosphates, sels minéraux.* — Si l'oxygène dissous est abondant les phosphates et les sels minéraux sont en très faibles concentrations dans toute la région tropicale et notamment sur les côtes du Nordeste, les eaux bleues du courant équatorial sont pauvres : le plancton est peu abondant, le poisson rare et la faune benthique médiocre, les oiseaux de mer sont mal représentés sur les côtes continentales entre le Ceará et Cabo Frio; par contre au Sud et dans les îles océaniques les remontées d'eaux profondes (Okuda, 1960) où les arrivées d'eau des Falkland entraînent une fertilité supérieure.

— *Océanographie littorale.*

Elles est malheureusement encore mal connue et on en est le plus souvent réduit à des hypothèses, c'est ainsi par exemple que les courants côtiers dans la région du Nordeste ne sont guère connus par ce qu'en disent les Instructions Nautiques et... les pêcheurs locaux.

Les marées, faibles sur le littoral méridional (Rio Grande do Sul) augmentent régulièrement vers le Nord pour atteindre un maximum sur les côtes du Maranhão et de l'Amazonie, quelques valeurs d'amplitudes maxima sont citées ici à titre indicatif. Le zéro des cartes marines brésiliennes correspond au niveau des basses mers moyennes de syzigie.

Laguna (Rio Grande do Sul)	A =	1,40 m
Santos (São Paulo)	A =	2,66 m
Cabo Frio (Rio de Janeiro)	A =	2,04 m
Victoria (Espiritù Santo)	A =	2.20 m
Salvador (Bahia)	A =	3,60 m
Recife (Plrnambuco)	A =	3,10 m
Natal (Rio Grande do Norte)	A =	3,83 m
Fortaleza (Cearà)	A =	4,20 m
São Luiz (Maranhão)	A =	7,80 m
Ile de Maracà (Amapà)	A =	11,70 m

Dans les régions entourant le Cap São Roque où la plate-forme est très plate, la marée influe assez considérablement sur la hauteur des vagues à la côte, une augmentation de 3 ou 4 m de la tranche d'eau diminue de façon sensible l'amortissement sur le fond des houles d'alizé, le déferlement est donc plus considérable à la pleine mer qu'à marée basse (Guilcher, 1954) et ceci en l'absence de formations protectrices émergeantes. L'érosion marine sera donc localisée dans la partie haute du rivage et la basse plage aura tendance à engraisser avec pour résultante un profil plat. D'autres processus complexes, et encore loin d'être complètement inventoriés, influent sur la sédimentation littorale et la biologie des peuplements benthiques.

Il faut d'abord remarquer l'absence d'ouragans ou de cyclones sur l'ensemble des côtes brésiliennes. Il y a bien des perturbations passagères d'origines variables suivant les régions : grains locaux pour le Nord et le Nordeste coups de vents violents et soudains d'E.S.E. sur le littoral oriental et « pamperos » plus au Sud mais rien, à notre connaissance, n'autorise à leur attribuer une grande influence.

Les alizés, par contre, du fait de leur constance, ont certainement une importance considérable : ils poussent à la côte toute l'année ou presque de fortes houles à grande longueur d'onde capables de remuer et mettre en suspension les sédiments jusqu'à plus de 10 m de profondeur.

De plus une dérive littorale très marquée naît de l'obliquité avec laquelle les alizés rencontrent le rivage, c'est elle qui, renforcée ou contrariée par les courants généraux, est responsable de la construction des longs cordons sableux qui dévient souvent les estuaires sur des kilomètres, généralement du Sud vers le Nord.

L'apport d'eau au rivage, dû au déferlement des houles d'alizé, est compensé comme c'est généralement le cas par des courants d'arrachement (rip currents), très visibles d'avion sur les longues plages du Nordeste et qui contribuent à mettre en suspension les sédiments, donc à augmenter la turbidité. Les nombreux cours d'eau, bien que généralement à faible débit, peuvent cependant transporter des quantités considérables de boues en suspension, en particulier lors des crues (Ottmann, 1960 b, a trouvé jusqu'à 15 grammes par litre à l'embouchure du Rio Capibaribe, à Recife).

Les embouchures du São Francisco, du Rio Doce etc... vues d'avion sont prolongées vers le large (même pendant l'été) par un demi-cercle d'eaux boueuses de plusieurs kilomètres de rayon en surface. Ces eaux d'estuaire, entraînées par les courants et la dérive littorale peuvent longer la côte sur des distances notables, généralement toujours du même côté de l'embouchure, ce qui donne lieu à des dissymétries dans la répartition des peuplements coralliens.

L'intense turbidité des eaux de rivières pourrait être liée, selon nous, à la déforestation incontrôlée de l'intérieur des terres qui n'a cessé de faire rage depuis les débuts de l'installation européenne. Tout au cours de cette étude nous aurons à signaler des phénomènes d'appauvrissement récent des peuplements benthiques littoraux (Kempf et Laborel, 1967) vraisemblablement liés, au moins en partie, à ce regrettable état de choses.

On comprend que, tous ces facteurs se combinant, une forte turbidité pendant la saison humide (et parfois toute l'année) caractérise les régions côtières du littoral brésilien tropical, les récifs internes des Abrolhos, bien que situés à une vingtaine de milles de la côte ne sont baignés d'eaux claires que quelques mois par an.

Dans les îles océaniques (Fernando de Noronha et Rocas en particulier) les eaux sont, par contre, limpides toute l'année).

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE RÉGIONALE

ÉTUDE DES PEUPLEMENTS CORALLIENS

A) Généralités.

a) Terminologie.

b) Principales subdivisions de la région corallienne brésilienne.

B) Étude régionale des peuplements récifaux.

Chap. 1. La région septentrionale d'appauvrissement superficiel.
Chap. 2. La région du Cap São Roque.
Chap. 3. Les Iles océaniques Fernando de Noronha et Rocas.
Chap. 4. La « côte des arrecifes », de Natal au Rio São Francisco.
Chap. 5. Les côtes de l'Etat de Bahia et les Abrolhos.
Ch. 6. Appauvrissement et disparition des peuplements coralliens.

C) Répartition des madréporaires sur la plate-forme continentale.

A) *GÉNÉRALITÉS*

a) Terminologie employée.

La côte brésilienne est dans l'ensemble parsemée de très nombreux écueils ou récifs au sens maritime du terme, c'est-à-dire de formations émergeantes dangereuses pour la navigation.

La nature de ces dangers est extrêmement variable et il nous paraît utile d'indiquer au seuil de cette étude les différents termes que nous utiliserons.

Tout d'abord nous réserverons le terme de récif aux *formations coralliennes, algales, ou à base de Vermets émergeant à basse mer.*

Nous désignerons par le terme local d' « arrecife » (employé par les pêcheurs et utilisé récemment par Ottmann (1960) ces formations très particulières que sont les lignes de grés marins quaternaires si caractéristiques du Nordeste. Le terme écueil désignera exclusivement les roches (éruptives ou latéritiques) et les strates émergeantes de calcaires non récifaux (généralement Crétacées ou Eocènes).

Les formations immergées seront répertoriées ainsi :

— les lignes de grés sous-marines par « arrecifes immergés » ou « bancs de grés »,
— les formations coralliennes non émergeantes par le terme « banc corallien »,
— toutes les autres formations par les expressions «affleurement», « pointement » ou « haut-fond ».

— *Terminologie des récifs coralliens.*

La structure particulière des formations construites étudiées nécessite également quelques précisions.

Nous distinguerons en général sur le récif :

— une pente ou un tombant externe se prolongeant parfois par un banc corallien,
— une zone de déferlement,
— une crête algale (algal-ridge) à Vermets et Mélobésiées,
— un platier émergeant portant éventuellement une caye sableuse (coroa),
— un tombant interne, ou arrière-récif, associé ou non à des pinacles isolés,
— et généralement un chenal d'embarcation (« boat-channel »).

Du point de vue de la forme du récif nous ferons les distinctions suivantes :

— récifs linéaires : allongés et de faible largeur, trahissant généralement la présence de fondations gréseuses,
— récifs en tache : arrondis ou irréguliers certains, développés en arrière des précédents correspondraient mieux au terme « apron-reef » des auteurs anglo-saxons,

— pinacles isolés, n'atteignant généralement pas la surface (anglais « pinnacles » ou « knolls »), localement appelés « chapeirões » dans la région des Abrolhos.

b) Subdivisions principales de la région corallienne brésilienne (*fig.* 4).

Elles correspondent assez bien aux différentes régions géographiques étudiées au chapitre précédent :

— De la Guyane française à São Luiz do Maranhão, c'est-à-dire dans toute la région amazonienne proprement dite, il n'y a aucun édifice corallien connu et vraisemblablement peu de Madréporaires isolés; toute cette région sera placée en dehors de notre étude,

— De São Luiz do Maranhão jusqu'à Mossorò il n'y a pratiquement pas de récifs mais des peuplements appauvris de plus en plus clairsemés vers le Nord : c'est ce que nous avons appelé la « région septentrionale d'appauvrissement superficiel »,

— Autour du grand saillant du Cap São Roque apparaissent les premiers grands récifs, s'étendant en gros de Caixara do Norte jusqu'à Natal : c'est le « groupe récifal du Cap São Roque »,

— Au large du Cap São Roque les îles de Fernando de Noronha et Rocas,

— Au Sud de Natal jusqu'à l'embouchure du Rio São Francisco séparés de la précédente par une zone sableuse sans récifs s'étend ce que nous appelons la côte des arrecifes, dans laquelle ces bancs de grés (les « stone reefs » de Darwin, Hartt et Branner) exercent une influence prépondérante sur la morphologie du littoral,

— Du Rio São Francisco à Bahia il n'y a aucune formation corallienne mais l'importance de ce secteur de côte est considérable, car il constitue une véritable barrière biologique,

— Enfin sur les côtes de l'Etat de Bahia et dans l'archipel des Abrolhos s'étend le cœur de la région corallienne avec les récifs les plus étendus, les plus épais et les peuplements les plus riches,

— Au Sud, dès la frontière Nord de l'Etat d'Espiritù Santo, les récifs disparaissent et on entre dans la zone méridionale d'appauvrissement qui s'étend par-delà Cabo Frio jusqu'à Santos.

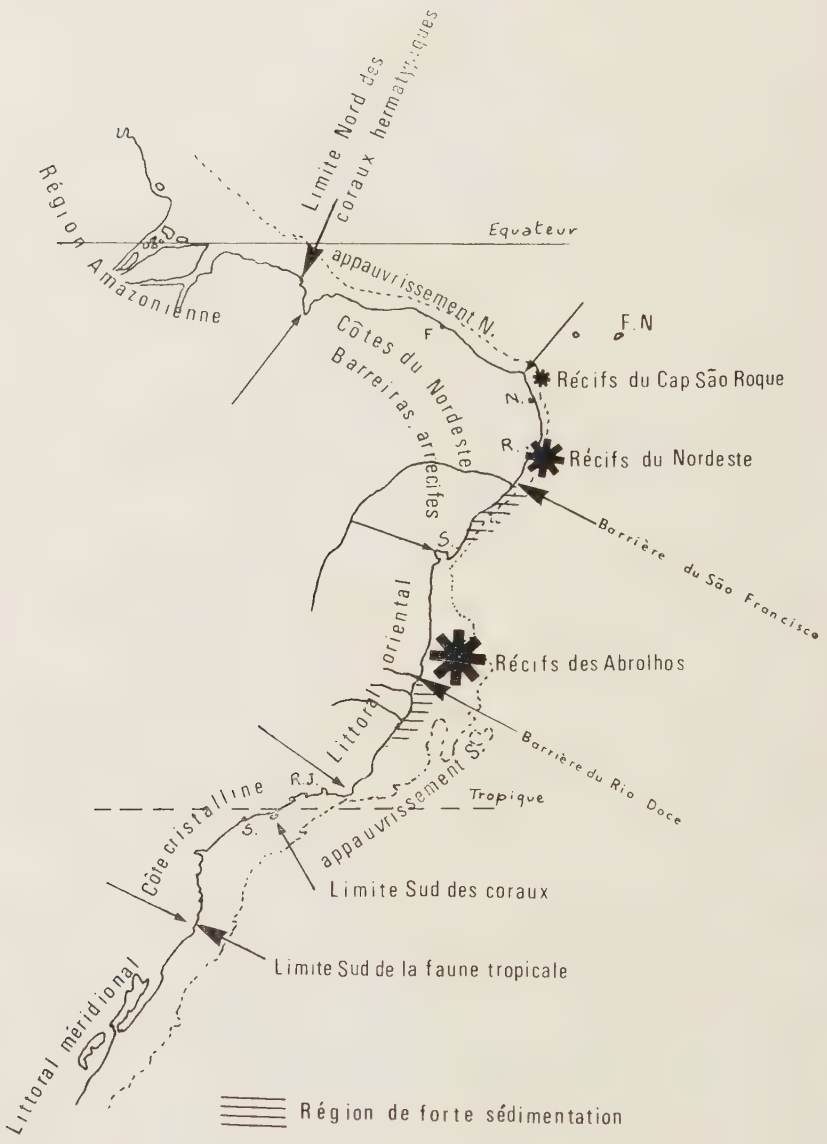

Limite Nord des coraux hermatypiques
Région Amazonienne
Equateur
appauvrissement N.
F.N
Côtes du Nordeste
Barreiras, arrécifes
Récifs du Cap São Roque
Récifs du Nordeste
Barrière du São Francisco
Littoral oriental
Récifs des Abrolhos
Barrière du Rio Doce
Tropique
Côte cristalline
appauvrissement S.
Limite Sud des coraux
Limite Sud de la faune tropicale
Littoral méridional
Région de forte sédimentation

Fig. 4

B) *ÉTUDE RÉGIONALE DES PEUPLEMENTS RÉCIFAUX*

Chapitre I

LA RÉGION SEPTENTRIONALE D'APPAUVRISSEMENT SUPERFICIEL

Cette région est extrêmement mal connue et son exploration biologique est à peine commencée; elle s'étend sur 1 400 km entre São Luiz do Maranhão et le Cap São Roque. Ses côtes, inhospitalières et bordées de dunes, sont mal cartographiées et à part São Luiz, Camocim, Fortaleza et Mossoro, ne comprennent pas de ports accessibles. Les routes sont particulièrement rares, les communications aériennes et maritimes également.

La caractéristique essentielle des peuplements marins littoraux est leur pauvreté, encore que la région de São Luiz où se trouvent des espèces particulièrement intéressantes comme *Pacifigorgia elegans* (Milne Edw. et H.) puisse peut-être faire exception.

Nous n'avons pu, au cours de notre séjour, qu'étudier brièvement la région de Fortaleza sans pouvoir même effectuer de plongée à cause du mauvais temps. L'étude du matériel récolté par les plongeurs locaux (et en particulier par M. Matthews, agent consulaire de Grande-Bretagne que nous remercions de son accueil) montre l'existence de bancs pratiquement monospécifiques, n'émergeant généralement pas et ne comportant pas de platier différencié quand ils émergent : en particulier les bancs da Velha et do Meireles, respectivement à 3,6 et 2,3 milles dans l'WNW de la pointe de Mucuripe.

Les espèces rencontrées sont *Siderastrea stellata* Verril, constructeur principal, *Millepora alcicornis* L., constructeur secondaire

et *Favia gravida* Verrill, espèce compagne; on signalera en outre la présence de *Phyllangia americana* (M. Edw. et Haime) sur une drague coulée à l'intérieur du port.

Au large, cependant, dans la zone sub-récifale on rencontre de nombreuses espèces communes plus au Sud sur les récifs[1] (voyage du « Canopus »).

Tous les affleurements rocheux que l'on peut atteindre à partir du rivage dans le voisinage de Fortaleza sont des formations latéritiques qui constituent sans doute la base des rares bancs coralliens. Branner signale également quelques rares récifs de grés (1904).

Il existe un certain nombre de récifs et de bancs inexplorés, de position et parfois même d'existence douteuse, entre Fortaleza et le Cap São Roque. Le plus important serait le récif João da Cunha, très éloigné de la côte et situé au large de l'embouchure du Rio Mossorò par 4°,55′ Sud et 36°,57′ Ouest, couvert de 1 à 8 mètres d'eau, on n'est même pas absolument certain qu'il soit corallien, il n'a jamais été visité.

Il est donc encore difficile de se faire une idée exacte des formations coralliennes de cette région. Le peu d'observations existantes montre la grande rareté des Madréporaires à faible profondeur. Il semble qu'au Nord de São Luiz do Maranhão on ne trouve plus aucune formation construite. On peut donc fixer pour l'instant cette ville comme la limite Nord de la région corallienne brésilienne. Il appartiendra à des expéditions ultérieures d'étudier s'il existe ou non, par-delà la région amazonienne, un contact direct entre les faunes coralliennes brésiliennes et caraïbes. Nous verrons ultérieurement que le fonctionnement de la « barrière amazonienne » est encore mal connu.

1. Nous étudierons ces peuplements subrécifaux dans un chapitre ultérieur.

Chapitre II

LA RÉGION DU CAP SÃO ROQUE

On trouve entre Caixara do Norte et Natal un certain nombre de récifs qui sont, pour autant que nous puissions en juger, très semblables entre eux et constituent le groupe récifal du Cap São Roque (*fig.* 5).

Ces récifs de forme plus ou moins ovale situés à plusieurs milles au large, forment une bande de hauts-fonds qui limite vers l'extérieur le Chenal du Cap São Roque, profond de 6 à 7 m.

Ce sont, du Nord-Ouest au Sud-Est :

— Urca do Tubarão par 4°,50′ S et 36°,28′ W,
— Urca do Minhoto par 4°,51′ S et 36°,14′ W,

encore complètement inexplorés et d'accès difficile.

— Le grand banc dit Coroa das Lavadeiras, inexploré, est sans doute en grande partie sableux mais pourrait porter des formations construites sur sa périphérie.
— Autour du Cap São Roque et du Nord au Sud, on observe les récifs de Sioba, Fogo et Maracajahù.

Etude du récif de Maracajahù.

Nous avons eu l'occasion d'effectuer une sortie sur ce récif à partir du village du même nom, grâce à la gentillesse du Dr S. Montes de la Faculté de Médecine de Natal que nous remercions ici pour son accueil et son aide.

Situation et description. — Le récif de Maracajahù se situe à quelques kilomètres au Nord du Cap São Roque par 5°,24′ S et 35°,16′ W; c'est un récif en tache, elliptique, orienté NNW-SSE, mesurant près de 5 milles de longueur sur 2 de large, entouré de faibles profondeurs, 7 à 9 mètres à l'extérieur et 3 à 4 mètres sur sa partie postérieure. La côte, en retrait de 3 milles par rapport au récif montre une érosion marine actuelle assez intense avec des falaises de faible hauteur taillées dans les sédiments des Barreiras et surmontées de dunes actives.

Sur l'estran affleurent des formations rougeâtres, roches latéritiques appartenant à la base de la série Barreiras et dénudées par l'érosion

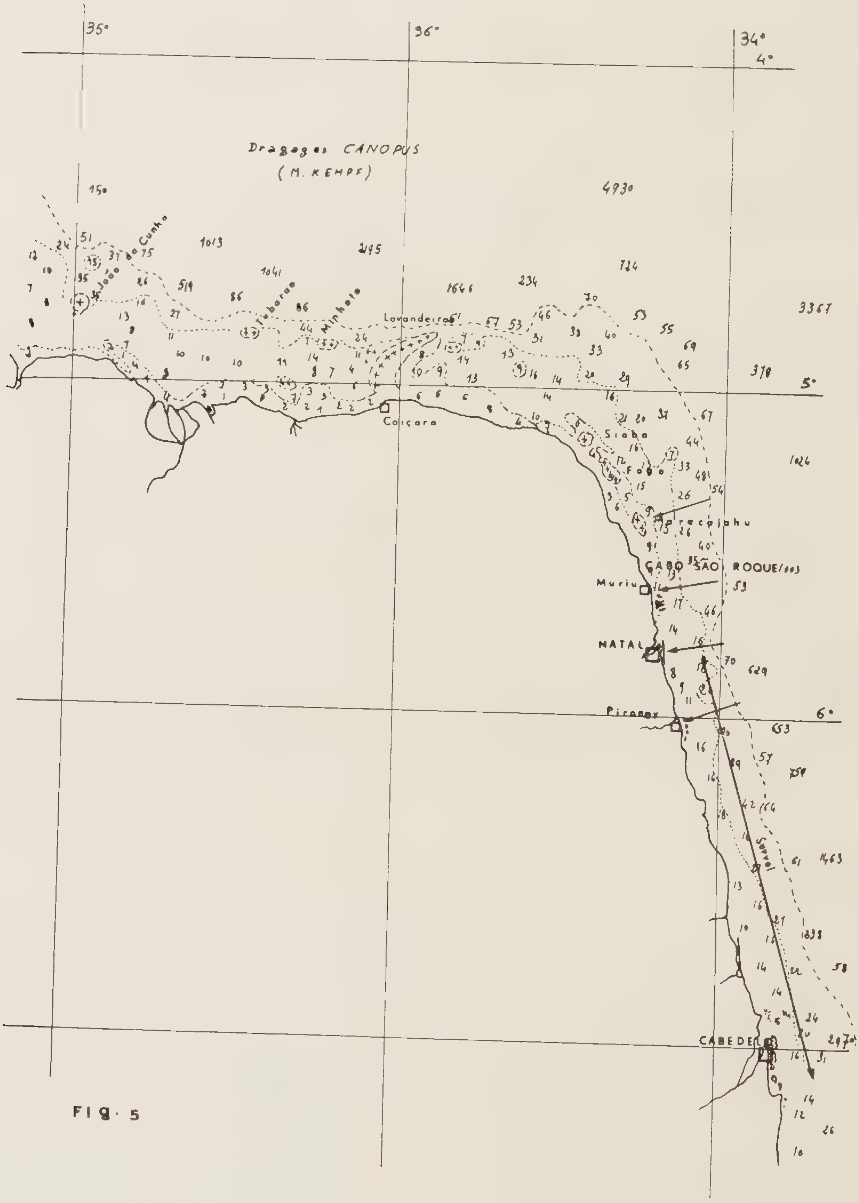

Dragages CANOPUS
(M. KEMPF)
Caiçara
Lavandeiras
CABO SÃO ROQUE
Muriu
NATAL
Pirangy
CABEDELO

FIG. 5

marine. Elles constituent des écueils entre le littoral et le récif (Bancs Pança et Téréza Pançà). Les peuplements de l'estran sont d'une grande pauvreté : une ceinture de *Tetraclita* à la base du médiolittoral, avec, au-dessus des *Bostrychia* et des Chtamales, les flaques contiennent des *Palythoa* et quelques colonies de *Siderastrea*.

Le récif ne comporte pas de platier, les nombreux pinacles émergeants qui le constituent, hauts de 50 à 60 cm au-dessus de la basse mer le jour de notre visite, sont séparés par un fond sableux assez envasé, profond de un à trois mètres (*fig.* 6).

FIGURE 6. — Carte du récif de Maracajahù (carte française 2528) et coupe générale de ce récif. Noter l'absence de platier.

Description d'un pinacle isolé. — La partie émergeante est un dôme bas assez régulier constitué par une épaisse croûte de Mélobésiées et de Vermets (*Dendropoma* cf. *irregulare* d'Orbigny, det. Miss Myra KEEN) couverte d'un gazon algal. Cet encroûtement paraît s'accroître avec vitalité et montre de nombreux petits trous souffleurs que tendent à recouvrir des « cloches » de Vermets et d'Algues calcaires. Nous observons ici pour la première fois au cours de cette étude une formation que nous allons trouver régulièrement le long de la côte et qui est en fait un véritable « algal ridge » (crête algale) (KEMPF et LABOREL, 1967) comme sur les récifs indo-pacifiques.

La masse corallienne sous-jacente, d'une épaisseur visible de 2 à 4 m comporte un nombre d'espèces très faible : *Siderastrea stellata* Verrill, sous forme de grosses têtes arrondies représente près de 80 % de la masse construite, complétée par *Porites astreoides* Lamck et une couronne de *Millepora alcicornis* L. située légèrement en-dessous du niveau des B.M. On observe des peuplements denses de *Caulerpa racemosa* (Försk.) et des encroûtements de *Palythoa*, sur Vermets morts.

La faune associée est d'une grande pauvreté, aucun Gorgonaire, pratiquement pas d'Echinodermes, et en particulier aucun *Diadema*, on ne note même pas d'attaque très nette par les *Echinometra*, la seule espèce notable est *Telesto riisei* (Duch. et Mich.) qui forme de petits peuplements sous les surplombs.

La figure 7 montre la coupe d'un pinacle corallien avec sa couverture de Vermets.

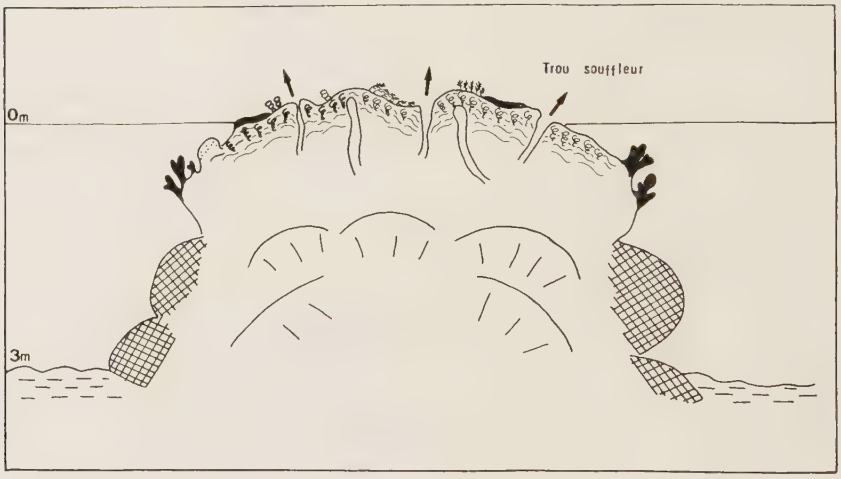


Figure 7. — Couple d'un pinacle du récif de Maracajahù. La structure en est simple, à base de *Siderastrea stellata* avec une couronne de *Millepora* cf. *braziliensis;* l'ensemble est recouvert par une croûte de Mélobésiées et de Vermets (*Dendropoma*).

Le jour de notre visite, en août, les eaux étaient extrêmement turbides dans le chenal et sur l'ensemble du récif, la visibilité n'atteignait pas un mètre. Le déferlement interdisait l'accès à la partie frontale du récif mais elle ne nous a pas paru différente d'aspect de celle que nous avons pu étudier.

Base du récif. — Les cartes et l'observation ne laissent guère de doutes à ce sujet, les Madréporaires se sont développés sur un sou-

bassement de roches latéritiques qui est en quelque sorte le prolongement rocheux du Cap São Roque décapé de ses sédiments meubles.

Evolution. — L'absence d'espèces à croissance rapide, la faible profondeur à laquelle doit se trouver le substrat originel (de l'ordre de 4 ou 5 mètres seulement) ont empêché la formation d'un front de récif continu et par là-même d'un platier massif. L'élévation a dû se faire sous l'influence de la croissance des *Siderastrea,* aidés par les Millepores. Les Vermets et les Mélobésiées ont ultérieurement complété l'édifice et ont formé sa partie émergée.

Nous n'avons pas observé sur ce récif de témoins de Vermets ou de *Siderastrea* érodés situés au-dessus de leur position normale; par contre, sur les rochers de l'estran s'observe une ligne fossile de Vermets qui correspond à un niveau supérieur à l'actuel de 50 à 70 cm. Il est difficile d'établir *a priori* si les Vermets se sont établis sur des *Siderastrea* surélevés et érodés ou directement sur des formations vivantes ayant atteint leur limite supérieure de croissance.

Autres formations récifales observées.

« Banc » de Muriù (fig. 8).

A peu de distance au Sud de la localité précédente, nous avons pu étudier un banc corallien non émergeant, intéressant parce qu'il semble s'appuyer sur la partie interne de formations rocheuses parallèles à la côte. Ce banc, large d'une centaine de mètres, situé beaucoup plus près du rivage que le récif de Maracajahù a la même composition faunistique que celui-ci mais sans formations de Vermets. La faune corallienne (sans doute à cause de la situation plus protégée) est légèrement plus riche : aux espèces citées plus haut s'ajoutent en effet *Millepora* cf. *braziliensis* Verrill, *Agaricia agaricites* (E. et H.) ssp *humilis* Verrill et *Porites branneri* Rathbun. La faune d'accompagnement ne compte ni Gorgones ni Echinides. On note une grande quantité de branches mortes de *Mussismilia harttii* (Verrill) dans le sédiment généralement noircies et corrodées, d'aspect subfossile. Comme nous n'avons pas trouvé cette espèce vivante dans cette localité, il est possible qu'elle en ait disparu récemment ou au contraire qu'elle se localise plus au large dans des eaux plus profondes.

« Banc » de Pirangy.

Au Sud de la ville de Natal, ce « récif » est en réalité, comme l'avait déjà établi Branner (1904) une ligne d'écueils qui se double intérieu-

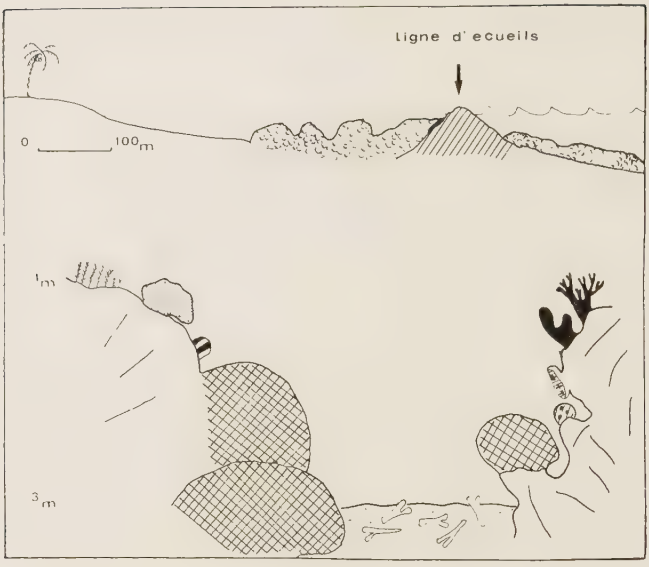


FIGURE 8. — Coupe du banc corallien de Muriù, formé de part et d'autre d'un pointement rocheux. Détail montrant la répartition des principales espèces : *Siderastrea, Porites astreoides, P. branneri, Favia gravida, Agaricia agaricites* et *Millepora alcicornis.* Noter l'abondance des débris de *Mussismilia harttii* dans le sédiment.

rement d'un banc corallien non émergeant comme à Muriù. Notons l'analogie existant entre ces formes et celles des récifs externes des Bermudes (dans la région de North Rock par exemple), dans les deux cas une couche corallienne peu épaisse (quelques mètres) s'appuie sur des formations rocheuses qui la protègent de l'agitation, il s'agit là de formes récifales jeunes et peu différenciées (LABOREL, 1966).

Récif de grès de Natal (BRANNER pp. 35-40, *fig.* 13, 14 et 15).

Nous citons cet « arrecife » pour mémoire : quoi qu'en ait dit récemment MABESOONE (1964) il s'agit bien d'un récif de grés analogue à ceux que nous étudierons dans la région suivante, sa morphologie et sa composition ne laissent aucun doute là dessus, tout au plus s'appuie-t-il à son extrémité sur des formations latéritiques, ceci expliquerait peut-être l'erreur de MABESOONE qui n'aurait étudié que la partie Sud.

Chapitre III

FERNANDO DE NORONHA ET ROCAS

Nous étudierons successivement ces deux îles océaniques situées au large du Cap São Roque. N'ayant pu bénéficier d'aucune possibilité pour visiter les Rochers São Pedro et São Paulo nous ne parlerons pas de leur peuplement corallien (encore complètement inconnu et vraisemblablement pauvre) ; il serait cependant extrêmement souhaitable du point de vue biogéographique de savoir quelles sont les espèces qui ont pu y parvenir et s'y développer. Nous avons pu étudier Rocas et Fernando de Noronha au cours de deux voyages, en compagnie de notre camarade Marc Kempf. Nous sommes redevables de ces missions respectivement à la Marine brésilienne, qui a bien voulu nous accepter à bord d'un bâtiment ravitailleur, et à l'Administration du Territoire de Fernando de Noronha en la personne de son Gouverneur, que nous tenons à remercier ici particulièrement.

Sous-chapitre 1. *Fernando de Noronha*

Cet archipel volcanique, composé d'une île principale de 17 km² et de 18 îlots de tailles diverses, est situé par 3°,51′ S et 32°,26′ O à quelques 350 km des côtes du Rio Grande do Norte dont elle est séparée par des profondeurs de plusieurs milliers de mètres. L'archipel, de même que Rocas est lié à une branche de la dorsale médio-atlantique (Ottmann, 1963) (*fig.* 9).

L'exploration scientifique de Fernando de Noronha, commencée par une reconnaissance de Darwin à bord du « Beagle » a été continuée par une escale du « Challenger » (1873) durant laquelle peu de prélèvements purent être effectués en raison de l'opposition du gouverneur de l'époque. L'île fut étudiée de point de vue géologique par Rattray (1871) puis par Branner et Ridley qui la visitèrent respectivement en 1876 et 1887. Elle est surtout bien connue depuis le travail détaillé de F.F.M. de Almeida (1955).

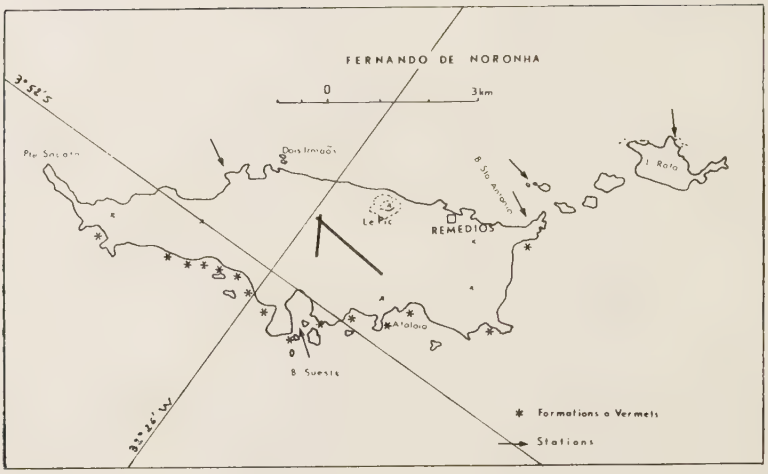


FIGURE 9. — Carte générale de l'archipel de Fernando de Noronha.

Tous ces auteurs se sont essentiellement intéressés à la structure géologique de l'archipel. En ce qui concerne les formations coralliennes, on a longtemps admis (HARTT, 1870; RIDLEY, 1890, 1891) que l'île était entourée de récifs coralliens.

BRANNER (1904) établit l'absence de récifs, malgré la présence d'une faune corallienne réduite, d'après lui, à quelques espèces. Le même auteur décrit les récifs de Vermets et Mélobésiées de la côte au vent, que RIDLEY (1890) avait pris pour des récifs coralliens et signale pour la première fois l'homologie de ces formations à « Serpules » avec les « boilers » des Bermudes en même temps qu'il donne la première liste valable de Madréporaires; car aucune des déterminations de DUNCAN n'est exacte (les trois espèces qu'il cite se rapportent vraisemblablement à *Favia gravida* VERRILL et *Astrangia braziliensis* VAUGHAN).

La liste donnée par BRANNER comprend trois Madréporaires, un Millepore et deux Gorgonaires (il est intéressant de noter que R. RATHBUN, à qui BRANNER avait soumis ses récoltes, reconnaissait déjà la forte différence d'aspect entre les populations de *Mussismilia hispida* ssp *tenuisepta* VERRILL de l'île et celles de la côte du Nordeste, au point d'en faire une espèce — non publiée — *Mussa verrilli* RATHBUN).

Bref l'étude des populations coralliennes de Fernando de Noronha était à reprendre. Nous avons pu effectuer, en octobre 1962, un

certain nombre de plongées autour de l'île (surtout du côté abrité) et en tirer les conclusions suivantes :

La faune corallienne de l'archipel est plus abondante qu'on ne le croyait et ne comporte pas moins de dix espèces de Madréporaires :

Madracis decactis (Lyman)
Porites astreoides Lamarck
Porites branneri Rathbun
Agaricia agaricites (M. Edw. et M.) « var » *humilis* Verrill
Siderastrea stellata Verrill
Favia gravida Verrill
Montastrea cavernosa (Linné)
Astrangia braziliensis Vaughan
Mussismilia hispida (Verrill) ssp *tenuisepta* Verrill
Mussismilia harttii (Verrill)

auxquelles s'ajoutent : *Millepora alcicornis* Linné et *Stylaster duchassaingi* Pourtalés. Des dragages récents (Calypso) ont montré l'existence entre 30 et 70 mètres d'un certain nombre d'espèces supplémentaires en particulier *Agaricia fragilis* (Dana), *Scolymia wellssi* Laborel, *Madracis scotiae* Gardiner et *Meandrina braziliensis* (M. Ed. et H.).

La zonation observée est la suivante (côte sous le vent) (*fig.* 10) :

a) De la limite des basses mers à un ou deux mètres de profondeur :

La roche, très battue, est recouverte d'un mince vernis de Mélobésiées et, localement, de la forme encroûtante de *Millepora alcicornis*, parfois comme dans la Baie de Sudeste s'observe une ceinture de *Favia gravida* (forme méandroide) et de *Palythoa*. Les peuplements algaux sont également assez peu développés sauf aux endroits abrités.

b) Entre 2 et 15 mètres (environ) :

On y observe généralement deux types de paysages : un fond en pente douce ou en escalier, descendant régulièrement jusqu'à une vingtaine de mètres, on encore des chaos de blocs éboulés, atteignant plusieurs mètres de diamètre. Dans le premier cas on note un peuplement corallien assez particulier, caractérisé par l'abondance de colonies toujours de faible taille et sans rôle constructeur; c'est ainsi que, vers 20 mètres, au pied de l'écueil Nord de l'île Rata, un relevé sur un espace de un mètre carré donnait les résultats suivants :

FIGURE 10. — Coupe synthétique de la zonation des peuplements le long des rivages sous le vent de l'archipel. On note de haut en bas :
— Zone supérieure à *Millepora alcicornis* (formes encroûtantes).
— Peuplement non concrétionnant à *Mussismilia hispida tenuisepta*, *Porites*, *Favia* et *Siderastrea*.
— Surplombs à *Agaricia agaricites* et *Madracis decatis*.
— Pinacles à *Montastrea cavernosa*.

Mussa hispida tenuisepta (VERRILL), 37 colonies, diamètre max. 25 cm.

Siderastrea stellata VERRILL, 5 colonies, diamètre max. 5 cm.
Porites astreoides LAMARCK, 1 colonie, diamètre max. 10 cm.
Montastrea cavernosa (LINNÉ), 1 colonie, diamètre max. 10 cm.

En d'autres endroits (Baie de Santo Antonio) on peut avoir une plus grande abondance de *Favia gravida* et des deux *Porites* mais les points constants sont les suivants :

La taille maximum des Madréporaires est toujours faible dans cette zone, le cas le plus frappant étant celui de *Siderastrea stellata*, qui sur les côtes du Cap São Roque représente plus de 80 % de la masse construite et ici ne joue absolument aucun rôle constructeur; il en est de même pour *Mussismilia hispida* dont les deux sous-espèces sont capables d'atteindre un diamètre de l'ordre de un mètre partout ailleurs sur les côtes brésiliennes. Encore plus notable est la faible calcification de cette dernière espèce et surtout sa très faible adhérence au substrat (on les récolte à la main). Quant aux Millépores, ce n'est guère qu'à partir d'une dizaine de mètres que des formes branchues apparaissent, qui sont incapables

d'atteindre un volume important. *Phyllogorgia dilatata* (Esper) est assez commune.

On note de plus une abondance remarquable de *Diadema* sp. (généralement groupés en taches triangulaires d'une dizaine d'individus), *Tripneustes ventricosus* (Lmck) (det. Marc Kempf), l'Ascidie *Ascidia niger* Savigny, d'assez nombreux Spongiaires et, entrant en concurrence avec les Algues calcaires, des peuplements de Phéophycées (*Dictyota* et *Dictyopteris* surtout).

Lorsque le fond est constitué d'éboulis les peuplements de la face extérieure des blocs portent généralement peu de coraux; sous les surplombs se développe une riche faune de Spongiaires, malheureusement encore totalement inconnue; la physionomie est celle des grottes battues de très faible profondeur en Méditerranée; *Agaricia agaricites* « var » *humilis* s'y rencontre sous sa forme encroûtante, avec *Madracis decactis*.

On notera que dans toute cette zone il n'y a en aucune façon empilement des colonies coralliennes les unes sur les autres; une fois atteinte une certaine taille, les Madréporaires meurent et leur squelette est généralement détaché de la roche, puis détruit par les Cliones.

Certaines espèces comme *Mussismilia harttii* ne se trouvent à faible profondeur qu'en de très rares localités; c'est ainsi que M. Kempf en a récolté quelques exemplaires dans une partie abritée de la Baie du Sud-Est (la même espèce par contre est assez abondante dans les dragages entre 40 et 50 mètres).

c) Entre 20 et 30 mètres :

On y assiste au développement de *Montastrea cavernosa* qui forme des têtes de grande taille, solidement fixées au substrat; contrairement à la zone précédente les colonies s'accumulent les unes sur les autres et il se développe des draperies de *Montastrea* sur les tombants, si bien qu'on observe de véritables pinacles coralliens épais de trois à cinq mètres, généralement pyramidaux et terminés au niveau du sédiment par un surplomb bien marqué à *Madracis decactis* et *Stylaster duchassaingi*.

Il ne nous a pas été possib'e, pour des raisons matérielles, d'évaluer l'importance de ces formations que nous avons observées à l'occasion de deux plongées l'une sur la côte Nord de la pointe Sud-Ouest de l'Ile principale (au pied du Morro da Quixabinha), l'autre à la pointe Nord-Ouest de l'Ile Rata.

Sur les côtes orientales, constamment battues par l'alizé, nous n'avons pu effectuer de plongées mais il est vraisemblable que les populations coralliennes à faible profondeur sont plus réduites

que sur la côte abritée. Par contre, de la pointe Nord de l'Ile principale jusqu'à la pointe Capim Assu s'étendent les splendides formations à Vermets et Mélobésiées signalées par Branner (1904) et Almeida (1955) et que nous avons récemment étudiées (Kempf et Laborel, 1967). Ces « récifs » sont, comme nous l'avons montré, l'équivalent de la crête algale des récifs indo-pacifiques et ils atteignent sur les rivages de l'île un développement considérable avec une épaisseur de l'ordre de trois ou quatre mètres dans l'anse d'Atalaià.

Conclusions

Bien qu'aucun véritable récif n'entoure les îles de l'archipel il est remarquable de noter que :

a) La faune corallienne est aussi riche en espèces que sur les côtes du Nordeste où les récifs sont nombreux.

b) Les principales espèces constructrices sont représentées par un nombre considérable d'individus, avec une densité au mètre carré souvent supérieure aux valeurs observées sur les récifs des côtes du Nordeste.

c) La zonation verticale est la même que dans les régions à récifs et comprend de haut en bas :

— une crête algale à Vermets et Mélobésiées,
— une zone à *Palythoa* et *Millepora alcicornis*,
— une zone à *Mussismilia*,
— une zone à *Montastrea cavernosa*.

La crête à Vermets et la zone à *Montastrea* faisant preuve d'une activité constructrice notable il devient évident qu'aucun récif n'a pu se former à cause de conditions défavorables affectant les deux zones intermédiaires. La vitalité et la reproduction des espèces constructrices ne sont pas en cause mais par contre nous avons vu que les colonies de *Mussismilia hispida tenuisepta* ne dépassent pas un certain diamètre et surtout sont mal fixées au substrat, *Siderastrea* ne forme que de petits blocs et les *Milllepores* se développent mal : l'activité constructrice est donc nulle dans ces deux zones.

Il ne peut donc y avoir de récif au sens commun du terme que si, du fond vers la surface, les espèces constructrices sciaphiles sont relayées par les constructeurs photophiles puis les Vermets et les Mélobésiées : les formations récifales de Fernando de Noronha sont tronquées, les trois groupes d'organismes constructeurs qui

devraient normalement se superposer pour aboutir à leur formation n'ayant pu trouver en aucun point de l'île des conditions favorables à leur développement simultané.

Quelles sont les raisons de cet état de chose? Les conditions de salinité et de températures semblent favorables et l'eau est claire toute l'année, il semble donc que le facteur limitant soit le mode trop battu des côtes de l'île. D'autre part les caractères de surface de la roche (trop lisse) ne seraient peut-être que médiocrement favorables à la fixation de certaines espèces (*fig.* 11).

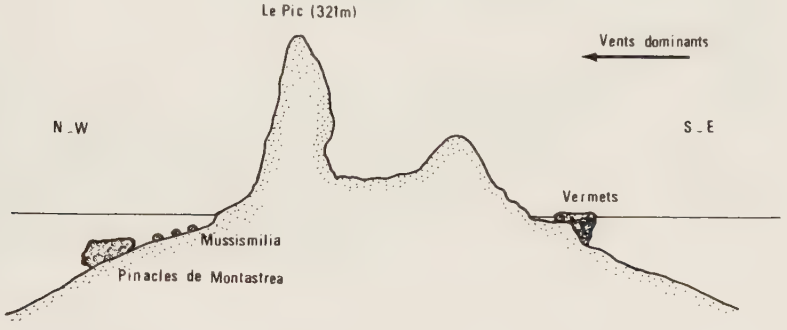


FIGURE 11. — Coupe schématique de l'île principale montrant la répartition dissymétrique des peuplements : du côté au vent, « récifs » de Vermets et Mélobésiées, du côté sous le vent, peuplement coralliens non concrétionnants et pinacles à *Montastrea* en profondeur. Fernando de Noronha

Nous avons constaté que la calcification des Madréporaires était maximum en lumière forte et en mode calme; une agitation trop violente nuirait donc à la croissance du squelette des polypiers de la même manière qu'une trop faible luminosité : on observe une convergence de forme entre les Madréporaires recueillis à faible profondeur à Fernando de Noronha et d'autres de même espèce (*Mussismilia hispida tenuisepta, M. hartii*), dragués par des fonds de 40 à 50 mètres. Le mécanisme de ces phénomènes est encore mal connu bien que les travaux récents de T. et N. GOREAU (1960, 1961) sur la physiologie des Madréporaires aient déjà précisé de nombreux points concernant la fixation du calcium en fonction de la luminosité.

Il est possible de se demander également si les espèces présentes à Fernando de Noronha sont les mieux adaptées au mode battu : *Mussismilia harttii,* constructeur d'importance primordiale dans la région de Recife est une espèce de mode calme; il est possible que *Mussismilia braziliensis* (VERRILL) espèce massive qui occupe au

Sud de São Francisco la niche écologique de l'espèce précédente et qui semble mieux adaptée au mode battu (récifs externes des Abrolhos) soit peut-être, si on l'introduisait, à même de se développer sur la côte sous le vent de Fernando de Noronha.

Enfin, selon Davis (1928) l'absence de récif à Fernando de Noronha serait due en grande partie au manque d'apports de larves coralliennes par le courant équatorial. Cette hypothèse est à rejeter définitivement.

Sous-chapitre 2. *Rocas*

Le récif de Rocas, souvent appelé Atoll de Rocas, est situé 80 miles à l'Ouest de Fernando de Noronha (3°,52′ S, 33°,49′ O). Il se présente comme un récif arrondi portant sur sa face Ouest plus abritée deux cayes sableuses émergées de façon permanente (Ile du Phare et Ile du Cimetière), couvertes d'une végétation basse et nitrophile à cause de l'extrême abondance des oiseaux de mer qui y nichent. Les dimensions du récif sont de 2,5 km sur 3,5 km. Il n'y a pas de vrai lagon mais un système de mares peu profondes, la plus grande se situant sur le bord oriental avec des fonds de 4 à 5 mètres (*fig.* 12).

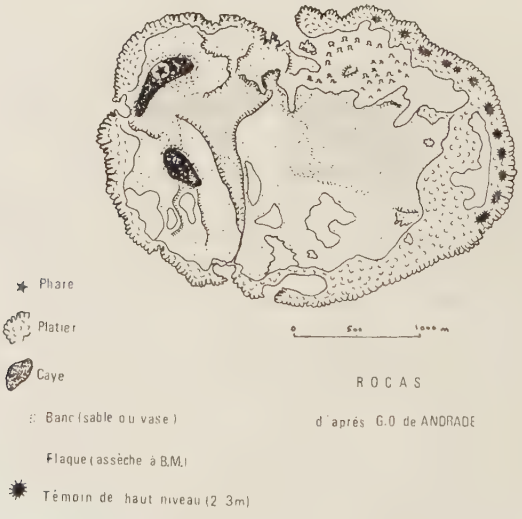


Figure 12. — Carte de l' « atoll » de Rocas, d'après un relevé de G. Osorio de Andrade.

PHOTO n° 1. — Fernando de Noronha. Saco de Atalaia. Récif de Vermets.

PHOTO n° 2. — *Montastrea annularis*. Fernando de Noronha, Dois Abraços, prof. 20 m.

Plusieurs études récentes ont été consacrées à Rocas, nous citerons plus spécialement celle d'Andrade (1958) et celle d'Ottmann (1963).

Nous ne pourrons pas ajouter grand chose aux résultats de ces deux auteurs car nous n'avons pu passer que quelques heures à Rocas, par un temps très défavorable et nous n'avons pu qu'observer rapidement la côte Nord-Ouest, près du phare. La courte description qui suit sera donc reprise à peine modifiée du travail d'Ottmann.

Le récif de Rocas est, dans sa partie visible, entièrement formé par des Mélobésiées et des Vermets, au même titre que les « récifs » de Fernando de Noronha. Sur la côte orientale on note, en retrait, de nombreuses roches noirâtres qui ont donné leur nom à l'île et que nous n'avons pu observer personnellement, leur hauteur est de trois à quatre mètres au-dessus du platier et elles ne sont pas recouvertes par la pleine mer. Andrade et Ottmann ont pu les observer de près et constater qu'il ne s'agit pas de blocs détritiques jetés par la mer sur le platier mais bien de témoins érodés correspondant à un niveau marin récent plus élevé que l'actuel, niveau que nous pouvons, en l'absence d'une datation, relier provisoirement au niveau de 2,60 m au-dessus de l'actuel observé à Gaibù et sur l'ensemble des côtes brésiliennes. Une étude de détail serait nécessaire pour voir si d'autres traces d'oscillations positives peuvent être rencontrées.

La faune corallienne, pour autant que nous ayons pu l'observer dans la zone superficielle de la côte occidentale, paraît pauvre. nous n'avons récolté que quelques *Favia gravida* et de petits échantillons de *Siderastrea stellata*, mais il est vraisemblable que, toujours comme à Fernando de Noronha, la faune s'enrichit rapidement au-dessous de 10 à 15 mètres ainsi que le laisse penser l'abondance à la plage des axes cornés de *Phyllogorgia dilatata* (Esper) et de débris roulés de *Favia et Agaricia*. Il est également vraisemblable qu'une zone à *Montastrea* se développe en profondeur. Au large du rivage le sondeur montre une série de replats ou plate-formes concentriques qui se situent, d'après Ottmann, aux profondeurs suivantes: 5-6 mètres, puis 20-30 mètres. D'après l'unique enregistrement que nous ayons pu réaliser dans le Nord-Ouest du phare il semble que la seconde plate-forme soit composite et montre deux ressauts, l'un à 20 m l'autre à 30, et que au pied d'un dernier tombant, vers 40 mètres, commence la pente vers les grands fonds (*fig.* 13).

L'histoire géologique de Rocas est encore mal connue, mais il semble (Andrade, Ottmann) qu'il ne s'agit pas d'un atoll au sens

que l'on donne actuellement à ce terme mais d'un récif annulaire à lagon peu profond selon la classification de GUILCHER (1954), formé par un empilement de formations algales en assiettes concentriques, développées sur un socle volcanique.

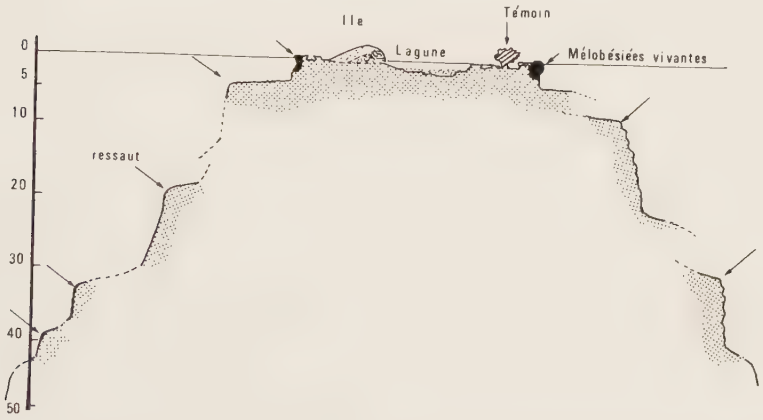


FIGURE 13. — Coupe schématique de l' « atoll » de Rocas, basée sur un relevé sondeur d'OTTMANN et sur nos propres observations.

Chapitre IV

LA COTE DES ARRECIFES DE NATAL AU RIO SAO FRANCISCO

Sous-chapitre 1. *Présentation, définition des Ensembles*

La région dénommée par nous « côte des arrecifes » s'étend sur quelques 250 milles entre 6° et 10° de latitude Sud. Elle est limitée au Nord par la ville de Natal et au Sud par l'embouchure du Rio São Francisco.

La direction générale du littoral est Nord-Sud, légèrement bombé vers l'Est, le point le plus saillant étant le Cabo Branco (Parahyba do Norte) qui, par 7°,08′ S et 34°,48′ W constitue l'avancée la plus orientale de toute l'Amérique du Sud. De part et d'autre de ce point la côte s'infléchit vers l'Ouest, ce mouvement s'accusant nettement au Sud du Cap Santo Agostinho.

Notre connaissance de cette région est meilleure que pour la précédente : grâce à l'excellente localisation géographique de l'Institut Océanographique de Récife et à une meilleure accessibilité des côtes, nous avons pu l'étudier d'une façon plus approfondie : près de 140 milles de côtes ont été survolés en avion léger et 80 milles étudiés sur le terrain avec quelques reconnaissances dans les parties moins accessibles.

Du point de vue morphologique cette région correspond au maximum de développement des « Barreiras ».

Les côtes sont surtout longées par la branche Nord du Courant Equatorial et aussi par sa branche méridionale (Courant du Brésil).

L'étude de cette région fait apparaître un certain nombre de résultats qui peuvent se schématiser de la façon suivante (*fig.* 14) :

a) La côte est constituée par un succession de caps, rocheux ou sédimentaires peu saillants, déterminant entre eux des baies larges, ouvertes et peu profondes, fortement colmatées et sous-tendues par des cordons sableux.

b) Les embouchures des petits fleuves côtiers ne débouchent généralement dans l'océan qu'après avoir assez longuement suivi le littoral dont elles sont séparées par des cordons sableux ou « restingas ». Chacune des plaines sédimentaires comprises entre deux caps successifs comporte généralement une ou plusieurs de ces

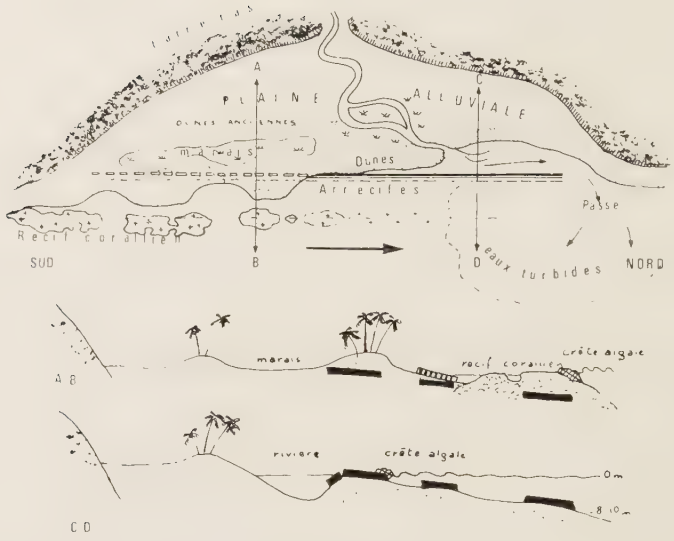


FIGURE 14. — Plan et coupes schématiques d'un « ensemble grésocorallien » des côtes Nord-Est du Brésil, repris et modifié de LABOREL (1965).

embouchures, tantôt isolées tantôt débouchant par un estuaire commun.

c) Des récifs de grés émergeant à basse mer (arrecifes) sont doublés vers le large par des récifs ou des bancs coralliens rectilignes qui leur sont parallèles.

d) A l'échelle de la région on assiste à une diminution progressive des récifs gréseux et coralliens du Sud vers le Nord; les récifs de coraux diminuant et disparaissant plus rapidement que les arrecifes. Le maximum corallien se situe entre Maceiò et Recife. Le dernier récif se trouve à Cabedelo (Parahyba) après quoi on n'observe plus que des arrecifes jusqu'à Natal.

e) Dans la région comprise entre Cabedelo et Tamandaré un phénomène analogue se constate à l'échelle de chaque baie : la disposition des récifs de grés et de coraux est périodique et peut se résumer ainsi :

Au voisinage du Cap qui limite chaque baie vers le Sud des formations coralliennes émergent au contact de la plage à basse mer.

En allant vers le Nord ces récifs s'écartent de la côte puis disparaissent graduellement, d'abord sous la forme de bancs immergés dispo-

sés dans le prolongement des précédents puis complètement. En même temps la ligne du rivage s'infléchit vers l'Ouest de quelques centaines de mètres jusqu'à ce qu'apparaisse sur l'estran un système assez complexe de lignes de grés parallèles dont les plus externes sont constamment immergées.

Une nouvelle inflexion du rivage, correspondant généralement à l'estuaire d'un fleuve côtier, isole ces arrecifes du rivage; ils constituent alors une sorte de digue dont l'extrémité Nord est tranchée nettement, délimitant une passe de largeur variable entre elle et le Cap septentrional.

On en arrive ainsi à la notion d'« ensembles gréso-coralliens » dont nous avons donné une description synthétique dans une note préliminaire (Laborel, 1965).

L'inexactitude des cartes marines a rendu difficile la cartographie de ces formations et l'observation aérienne s'est révélée chaque fois indispensable.

La longueur des ensembles et leur complexité sont variables et dépendent de la distance entre les caps, du nombre de rivières qui débouchent dans la plaine sédimentaire et de la disposition relative de leurs estuaires.

Nous donnons ici une figure légèrement modifiée par rapport à celle que nous en avions initialement donnée, avec des coupes permettant de comprendre la structure de détail.

Peu de cas sont aussi simples; celui qui se rapproche le plus de la figure étant celui de l'ensemble Cap Santo Agostinho - Ile de Santo Aleixo.

Dans le Nord de la région étudiée, les récifs coralliens se raréfiant, la disposition devient de moins en moins typique, les plus beaux exemples se trouvant entre Tamandaré et Olinda.

Certaines baies limitées par des caps très rapprochés montrent surtout si elles ne possèdent pas d'estuaires, des formations gréseuses curvilignes, très simples, le plus souvent non doublées par des récifs.

Les ensembles les plus développés et les plus complexes peuvent souvent être divisés en sous-ensembles, chaque sous-ensemble correspondant en général à l'embouchure d'une rivière.

Nous désignerons chaque ensemble par le nom des deux caps qui le limitent au Nord et au Sud et chaque sous-ensemble par le nom de la rivière autour de laquelle il s'articule; exemple : l'ensemble Olinda - Pedras Pretas (ensemble de la région de Recife) se décompose en un sous-ensemble du Rio Capibaribe au Nord et un sous-ensemble du Rio Jaboatão au Sud.

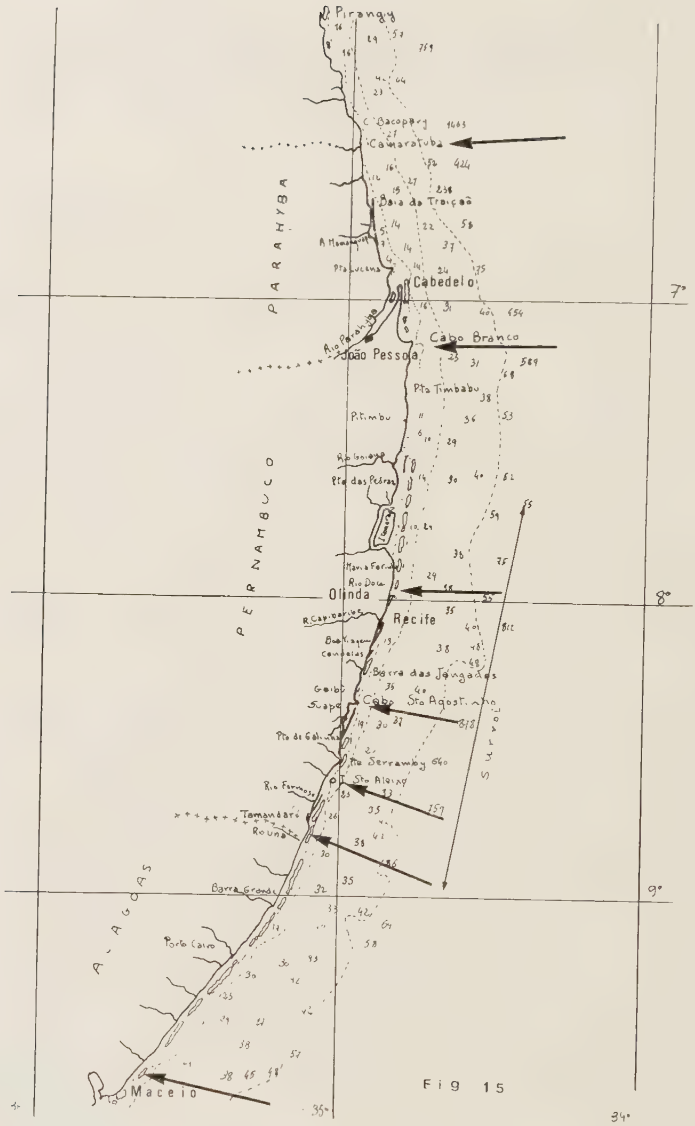

Pirangy
C. Bacopary
Camaratuba
PARAHYBA
Baia da Traição
Cabedelo
Cabo Branco
João Pessoa
Pta Timbabu
Pitimbu
PERNAMBUCO
Olinda
Recife
Barra das Jangadas
Cabo Sto Agostinho
Suape
Tamandaré
Barra Grande
Porto Calvo
ALAGOAS
Maceio
7°
8°
9°
35°
34°

Fig 15

Sous-chapitre 2. *De Pirangy à la pointe Camaratuba* (De Natal à Jõao Pessoà, Partie Nord)

Sur 34 milles à peu près, la côte est dominée par des falaises taillées dans les sédiments des Barreiras, l'estran large et rocheux étant formé comme dans la région de Natal par des formations latéritiques. Nous avons pu survoler ce secteur; on observe des bancs gréseux serrant la côte de très près devant les embouchures des ríos Cunhahù et Sibaùma, signalés par BRANNER; une seule ligne est visible; elle n'est doublée vers le large par aucune formation corallienne (*fig.* 15).

En d'autres termes cette côte sert de transition entre les régions de Natal et du Cap São Roque (caractérisée par une forte érosion littorale et la rareté des arrecifes) et la région suivante.

Sous-chapitre 3. *De la pointe Camaratuba à Cabo Branco* (Natal-João Pessoà, Partie Sud)

Nous avons affaire ici pour la première fois à des formations ordonnées conformément au schéma synthétique donné plus haut; on observe en effet : de la pointe Camaratuba à la Baie de Traição : un renfoncement de la côte avec, sur la plage, quelques lignes gréseuses. Puis, au milieu de la Baie apparaît, plusieurs centaines de mètres au large, un arrecife en forme de digue dont l'extrémité Nord, brisée en plusieurs morceaux, s'interrompt net sans atteindre la rive Nord de la baie. Cette ligne court ensuite vers le Sud, rattrapée au fond de la baie par une double flèche sableuse qui contenait, à l'époque de BRANNER, une lagune peu profonde (Lagoa de Sinimbù) actuellement comblée. Au Sud de cette avancée sableuse, large de 1 km à peu près et qui paraît l'équivalent d'un tombolo double de petites dimensions, l'arrecife court à quelques centaines de mètres du rivage jusque devant l'embouchure du Río Mamanguape dont les eaux débouchent dans l'Océan pardessus le récif à marée haute et par de nombreuses brèches à basse mer (*fig.* 16).

Au Sud de cet estuaire l'arrecife continue sa course pendant quelques kilomètres puis se fragmente et disparaît, mais, dans son prolongement vers le Sud, des formations dunaires rectilignes passent derrière la pointe de Lucena, forment la rive gauche du Rio Parahyba do Norte et vont aboutir au contact du promontoire qui porte la ville de João Pessoa. La rive droite du Rio Parahyba est formée par un long cordon sableux ou « restinga » d'orientation SN qui porte la ville de Cabedelo; cette « restinga » qui se rattache à la côte un peu au Nord de Cabo Branco, est décalée assez fortement vers le large par rapport au prolongement du récif de Traição. BRANNER (1904) a signalé, sous les sables de Cabedelo, la présence de bancs de grès affleurant à la plage. Au large de la « restinga » et parallèlement à elle s'étend vers le Sud un récif corallien (récif de Cabedelo) qui rejoint également Cabo Branco par l'intermédiaire des récifs de Tambaù. Au Nord de l'extrémité du récif s'étend le banc de Lucena séparé de la « restinga » par une large

passe; ce banc d'accès difficile ne découvre pas mais protège suffisamment la côte pour avoir permis la formation de la pointe sableuse du même nom.

Le Cap Branco lui-même, entaillé sur tout son pourtour par des falaises dans les sédiments des Barreiras, est prolongé vers le large par une vaste plate-forme d'érosion de nature latéritique. Des témoins de Vermets érodés situés à une altitude de 50 cm à 1 m ainsi que des falaises mortes en retrait par rapport au rivage s'observent entre le village de Tambaù et la pointe du cap.

En conclusion les structures observées peuvent se résumer ainsi :

Il existe deux rivières principales, le Rio Mamanguape au Nord, le Rio Parahyba au Sud. La première de ces rivières débouche derrière un arrecife de grés dont le prolongement vers le Sud constitue la rive gauche de la seconde. Si l'on considère que la « restinga » de Cabedelo repose vraisemblablement sur un arrecife enfoui sous le sable on ne peut manquer d'être frappé par une telle disposition. Nous pensons que l'arrecife de la Baie de Traição avec sa brusque terminaison vers le Nord pourrait représenter la trace d'une ancienne « restinga » du Rio Mamanguape qui se jetait alors dans la Baie de Traição. L'embouchure se serait secondairement déplacée vers le Sud après le déblaiement par la mer des sables de la « restinga », l'ancien lit du fleuve étant actuellement barré par les flèches sableuses de la pointe de Sinimbù. La « restinga » de Cabedelo par contre serait encore fonctionnelle dans sa position primitive, sans doute à cause de la protection conférée par le récif corallien de Cabedelo. (*fig.* 16).

FIGURE 16. — Carte de la région comprise entre la Pointe Camaratuba (au Sud de Natal) et le Cap Branco (point le plus oriental des côtes brésiliennes). D'après la carte anglaise n° 3978. Le tracé des récifs a été entièrement modifié d'après les cartes d'Etat-major de la région et nos propres photographies aériennes.

Les deux structures sont donc homologues et présentent une disposition en échelon (overlapping, GUILLIVER, 1899) trahissant une résultante Sud-Nord des courants et de la dérive. En fait il

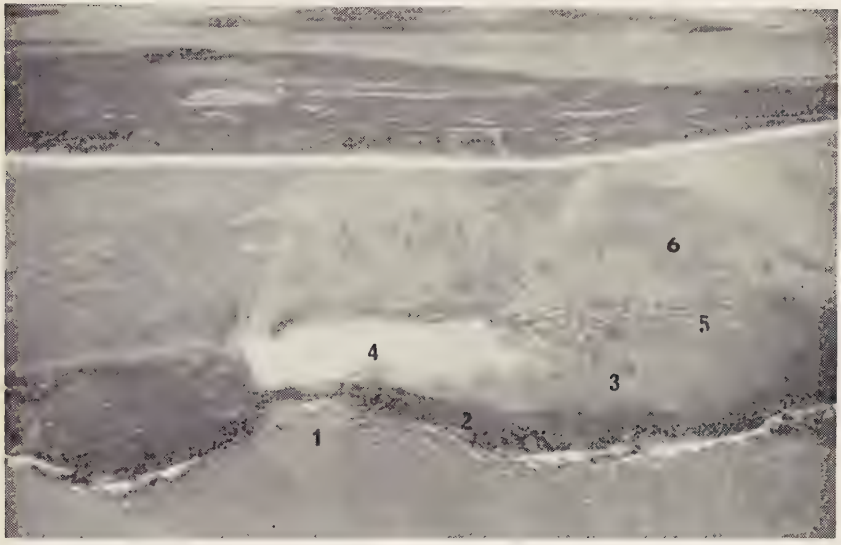


PHOTO n° 3. — Une vue aérienne du récif de Cabedelo (texte pp. , fig. 16). 1) Criques en voie de comblement par les boules algales; 2) Partie externe (chausse-trapes) du plateau émergeant; 3) Platier moyen sédimenté; 4) Caye sableuse submersible (coroa); 5) Pinacles et patés coralliens d'arrière récifs; 6) Les herbiers de Diplanthères.

PHOTO n° 4. — Récif de Cabedelo. Criques de la face externe, bourrelets et têtes algales et zone des chausse-trapes.

s'agit d'un ensemble complexe formé de deux sous-ensembles : le sous-ensemble du Mamanguapé au Nord et celui du Parahyba au Sud, la disposition générale des grés et des récifs coralliens étant conforme à ce que nous avons vu plus haut. Nous le désignerons donc par le nom d'ensemble double Camaratuba - Cabo Branco.

Etude biologique des récifs coralliens.

— *Le récif de Cabedelo* s'étend sans interruption entre le phare de Pedra Seca et la Praia do Poço, il se divise ensuite en platiers allongés grossièrement rectangulaires séparés par des passes assez larges : récifs de la pointe do Beça et de Tambaù; derrière ceux-ci la côte s'avance pour former une pointe sableuse alors qu'à chaque interruption correspond une baie en demi-cercle. Nous étudierons le récif de Cabedelo deux milles au Sud de Pedra Seca, là où émerge une petite caye sableuse localement appelée Coroa Vermelha, longue de quelques centaines de mètres, immergée à haute mer et située derrière une indentation du front du récif.

L'observation aérienne et terrestre montre la présence des zones suivantes :

— Une *zone frontale* formée de masses irrégulières d'Algues calcaires, d'un diamètre de 1 m en moyenne, émergeant dans la zone de déferlement. Là où le front du récif est indenté ces têtes algales tendent à circonscrire l'indentation et à la fermer par l'extérieur. La proportion de Vermets est très faible par rapport aux Mélobésiées. Nous n'avons pu explorer la pente externe qui a l'air de tomber verticalement sur des fonds de 6 à 8 mètres.

— Le *platier émergeant* peut se diviser en plusieurs parties : une zone antérieure qui fait suite à la zone frontale et qui est extrêmement anfractueuse et sillonnée de profonds chenaux s'anastomosant en réseau irrégulier, dans certains cas la marche y est rendue difficile par les anfractuosités qui forment de véritables chausse-trapes. Dans les chenaux apparaissent, en plus des espèces rencontrées sur les récifs de la région de Natal deux *Mussidae* : *Mussismilia harttii* et *M. hispida* (Verrill) ssp *tenuisepta* Verrill; il s'agit donc d'un enrichissement net de la faune; notons que Branner n'avait pas observé ces deux espèces (op. cit. p. 234). Les *Siderastrea* jouent toujours un rôle prépondérant secondés par les Millépores. Les Algues calcaires sont abondantes et semblent couvrir la plus grande partie des surfaces. Dans certains canaux transversaux peu profonds on observe de denses peuplements algaux à Caulerpes et Sargasses avec pour la première fois des Gorgonaires en quantité notable, en particulier *Muriceopsis sul-*

phurea (Donovan) et *Plexaurella* spp.; cf P. *dichotoma* (Esper) et P. *grandiflora* Verrill; le Madréporaire le plus fréquent dans ce type de peuplements est *Porites astreoides* Lamarck. Sur la partie moyenne du platier on n'observe ni levée de blocs ni entassement de matériel détritique grossier; la surface est plus régulière, les chenaux presque complètement comblés, les chausse-trapes disparaissent. Il s'agit d'une zone de colmatage.

L'arrière récif, peu développé et plus ou moins ensablé, est couvert de peuplements algaux avec des prairies de Phanérogames marines (*Diplanthera* sp).

— *Les récifs de Tambaù* présentent une structure voisine, nous avons étudié celui qui est au large du village (certains platiers voisins sont morts et entièrement recouverts de peuplements algaux) (*fig.* 17).

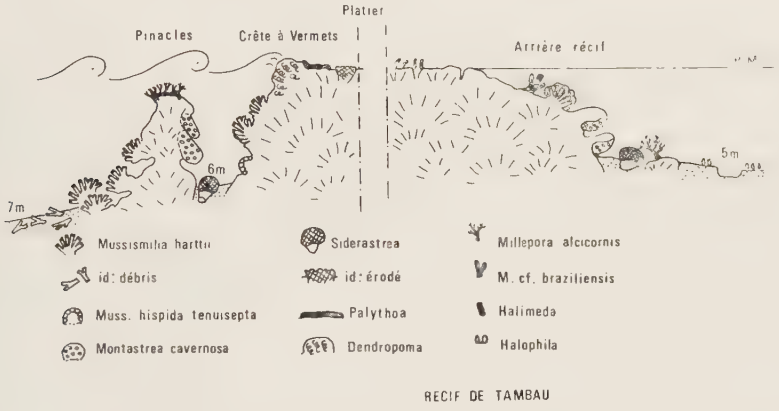


Figure 17. — Coupe biologique du récif corallien de Tambaù (carte précédente). Noter la différenciation morphologique des différentes parties du récif, beaucoup plus poussée que sur les coupes de Maracajahù et Muriù.

— *Zone externe* : elle se compose de deux parties : Des pinacles isolés très accores et même surplombants, s'élevant d'un fond de 6 ou 7 m jusqu'au voisinage de la surface que certains atteignent. Ils sont formés par : *Montastrea cavernosa* à la base, des bouquets de *Mussismilia harttii* et des boules de *Siderastrea* sur les flancs. Au sommet les Millepores (surtout M. *alcicornis*) forment une couronne qui peut émerger légèrement à très basse mer.

Un tombant externe, de même structure et même zonation, paraît dû à la coalescence des pinacles, il se termine au contact du fond par un surplomb de 1 à 2 m de retrait à peuplements pauvres : des

Foraminifères sessiles (*Homotrema, Carpenteria*) quelques colonies encroûtantes d'*Agaricia agaricites humilis* mais surtout des Mélobésiées.

— *La zone des Dendropoma* : Ceux-ci, beaucoup plus abondants que dans la localité précédentes, sont vivants et forment des encroûtements comme ceux de Maracajahù; on les observe entre 50 cm en-dessous du zéro des cartes et 50 cm au-dessus. Ils sont localement recouverts par les *Palythoa*. Le platier est fortement sédimenté avec de larges flaques peu profondes comblées de sédiment à articles d'*Halimeda*, Algues qui forment une couverture dense sur une partie considérable du platier. En plusieurs endroits on note la présence de blocs morts et érodés de *Siderastrea* qui n'ont pu se développer à ce niveau. De nombreux Actiniaires et Zoanthaires (*Zoanthus*) se développent dans les fentes du platier.

— *La bordure interne du récif*, en mode plus calme, avec des eaux relativement claires, se présente sous la forme d'un tombant peu accusé à peuplements coralliens assez riches, avec quelques grosses têtes de *Montastrea cavernosa* (morphose photophile à polypes vert-olive) où l'on note la mort de la partie supérieure des colonies qui s'accroissent par la périphérie. On trouve aussi des Millépores et les espèces de Gorgones déjà signalées. Un herbier d'*Halophila decipiens* (Ostenfeld) se développe en arrière, sur fond légèrement envasé.

Les récifs de Cabedelo et Tambaù apparaissent donc plus riches du point de vue faunistique et plus différenciés sur le plan structural que ceux du Cap São Roque. La présence d'un platier émergeant différencié avec une crête algale dans sa partie frontale, l'individualisation de zones biologiques bien tranchées avec une physionomie différente en fonction de leur place sur le récif, l'apparition des *Mussismilia*, l'existence enfin d'un grand nombre de pinacles dans la région externe; tous ces caractères sont ceux d'un récif déjà évolué bien que son épaisseur ne soit sans doute que d'une dizaine de mètres au plus. Le soubassement n'est visible en aucun point mais le récif est rectiligne, parallèle à la direction générale des arrecifes de Mamamguape dans sa partie Nord, puis fragmenté et incurvé vers la pointe de Cabo Branco au Sud; cette disposition nous paraît montrer qu'il s'est édifié (ainsi que le pensait Branner) sur des lignes de grés situées à une dizaine de mètres de profondeur.

L'opposition est nette avec les récifs de Maracajahu, elliptiques moins épais et construits sur des affleurements latéritiques.

La présence de témoins de Vermets (ou de *Siderastrea*) érodés et situés en place au-dessus de leur niveau biologique normal pose

la question du mécanisme de l'émergence du platier : le récif est-il parvenu à la surface par le jeu normal de la croissance des Madréporaires ou par suite d'une baisse du niveau? Nous traiterons ultérieurement dans les chapitres de synthèse de cette question importante.

Sous-chapitre 4. *De Cabo Branco à Olinda* (de João Pessoa à Recife)

Au Sud de Cabo Branco jusqu'à Punta de Pedras le littoral est d'accès difficile et les observations de BRANNER qui a pu le parcourir entièrement par mer sont utiles pour compléter les nôtres; plus au Sud nous avons pu à la fois survoler la côte et effectuer des stations terrestres (*fig.* 18).

FIGURE 18. — Carte de la région comprise entre la pointe de Cabo Branco et Olinda (entre les villes de João Pessòa et de Recife). Carte anglaise 3978 modifiée. Le tracé des récifs doit cependant être considéré comme douteux, surtout dans la partie Nord que nous n'avons pu survoler.

DESCRIPTION.

Du Cabo Branco à la pointe Timbabù il n'y a que quelques récifs de grès très fragmentaires, l'estran est rocheux. Les bancs visibles au large de la côte ne sont, comme le pensait BRANNER, que des affleurements rocheux avec peut-être une faible couverture corallienne.

Devant l'embouchure du Rio Goiana et au large apparaît un arrecife connu localement sous le nom de Pedra do Galé. Bien qu'il ait été minutieusement décrit par BRANNER il est impossible de la localiser sur les cartes marines : sur les cartes françaises sa position est trop au large et sa longueur fortement exagérée alors que sur les brésiliennes (900 et 910 DHN) il apparaît à peine.

Au large de cette formation les cartes indiquent un récif nommé Tacis, représenté comme émergeant, que BRANNER a cherché vainement sans le trouver. En l'absence d'un survol de la localité nous pensons qu'il pourrait s'agir de bancs (coralliens ?) parallèles à l'arrecife de Galè car l'appellation locale de « Tacis » désigne toujours dans le langage des pêcheurs des bancs immergés.

Ceci est d'autant plus probable que nous avons pu étudier en plongée un peu plus au Sud, devant le village de Pitimbù des formations de ce type que nous décrirons plus loin.

Devant Punta de Pedras la topographie se complique par l'apparition sur la plage, devant le village, de larges affleurements tabulaires d'un calcaire marin fossilifère, à léger pendage vers la mer, d'âge considéré généralement comme Éocène (formation Maria Farinha).

Ces affleurements vont apparaître çà et là sur tout le littoral jusqu'à Olinda. Si les cartes marines françaises n'en font pas mention, les nouvelles cartes brésiliennes (DHN 910) indiquent, devant Punta de Pedras un platier émergeant de deux kilomètres sur trois à l'emplacement des affleurements en question; comme dans la réalité ceux-ci sont moins étendus, nous supposons que ce sont les herbiers de Diplanthères, parfois installés directement sur le sédiment ou encore sur les dalles calcaires à la façon des mattes d'herbier de Posidonies méditerranéens (F. Laborel-Deguen, 1964) qui ont été pris pour un platier par les cartographes, travaillant sur photographies aériennes. L'aspect sur les photographies de ces deux types de fonds est en effet analogue (*fig.* 19).

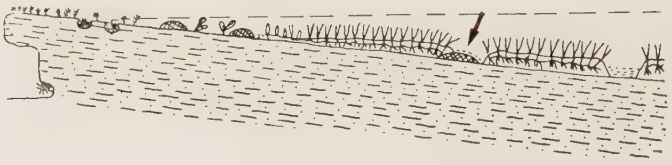


Figure 19. — Exemple d'affleurement rocheux simulant un platier corallien : les dalles de calcaire éocène de la formation Maria Farinha. Ces dalles sont localement recouvertes d'un herbier dense à base de *Diplanthera* sp., capable de recouvrir localement des colonies de *Siderastrea stellata*. D'après F. Laborel-Deguen (1963).

Au Sud de Punta de Pedras s'étend l'île rectangulaire d'Itamaracà qui n'est pas séparée de la côte mais délimitée par un bras de mer qui s'engage à l'intérieur des terres et débouche dans l'Océan par deux passes, au large s'observe une double ligne de formations coralliennes, d'abord sous forme de bancs immergés puis de véritables récifs qui s'étend jusqu'au voisinage d'Olinda.

Devant chaque embouchure, et elles sont assez nombreuses, la barrière s'interrompt pour reparaître immédiatement au Sud avec la même direction et un décalage vers le large d'une centaine de mètres (récifs d'Itamaracà, de Maria Farinha, de Praia da Conceição, de Pau Amarelo enfin de la Praia do Rio Doce, ce dernier venant en contact avec la plage et partiellement recouvert par les sables à son extrémité Sud).

Interprétation.

De la pointe Timbaù à Olinda la disposition des récifs, coralliens et gréseux, n'est guère conforme au schéma général des

ensembles. Les rivières sont nombreuses mais très peu importantes : on compte du Nord au Sud; le Rio Goiana (le plus important et le seul à déboucher derrière un arrecife), les deux ouvertures, Nord et Sud, du Canal d'Itamaracà (qui reçoivent plusieurs rivières secondaires, dont le Rio Iguaraçu), le Rio Maria Farinha et enfin le Rio Doce qui est un petit marigot temporaire. A ces rivières ne correspondent pas des baies mais plutôt une espèce de lagune encombrée de bancs de sable, large de un à deux kilomètres et qui s'étend sur toute la longueur de l'ensemble à partir de l'embouchure du Rio Maria Farinha au Sud de laquelle son emplacement est occupé par la restinga de cette rivière. Presque partout les falaises mortes des « Barreiras » arrivent au voisinage immédiat du littoral. Il s'agit donc tout au plus d'une succession de petits sous-ensembles correspondant chacun à une rivière.

La morphologie des récifs est caractéristique, ici aussi, de formations coralliennes basées sur des bancs de grès parallèles au rivage, la structure en échelon avec ouverture devant l'embouchure de chaque rivière et décrochement correspondant du récif est tout à fait caractéristique.

Étude biologique des récifs.

1° *Les lignes profondes devant Pitimbù.*

Légèrement au Sud du village de Pitimbù, à la frontière entre les états de Permanbuco et Parahyba, nous avons pu observer entre 10 et 12 mètres de fond plusieurs formations parallèles, étroites (quelques dizaines de mètres), orientées grossièrement Nord-Sud et dont nous n'avons pu déterminer la longueur. Leur hauteur au-dessus du fond était de un ou deux mètres avec des tombants peu accusés. Le recouvrement biologique était total, *Montastrea cavernosa* (L.) en constituant la presque totalité (formes en plaques ou en « têtes » volumineuses) avec quelques *Mussismilia hispida* (Verrill) ssp. *tenuisepta* Verrill et des Mélobésiées encroûtantes. L'absence des Gorgonaires était particulièrement notable (*fig.* 20).

Figure 20. — Coupe transversale d'un banc corallien linéaire, orienté Nord-Sud et situé vers 10 mètres de profondeur au large de Pitimbù. Une couche concrétionnée assez mince à base de Mélobésiées, de *Montastrea cavernosa* et de *Mussismilia hispida tenuisepta* recouvre vraisemblablement un banc de grés.

Malgré l'impossibilité d'accéder au soubassement de ces bancs il est vraisemblable, encore une fois, qu'il est formé de grès d'arrecife. Il s'agirait donc là d'un stade tout à fait initial de recouvrement dans lequel seuls les constructeurs sciaphiles ont commencé à édifier la partie inférieure d'un banc corallien et où la colonisation du substrat meuble entre les bancs (par *Siderastrea* en particulier) n'est même pas ébauchée. Il est vraisemblable que les conditions de milieu régnant en cette localité, n'ont pas permis aux coraux de dépasser ce stade.

2° *Les récifs de Siderastrea libres de la Pointe de Jaguaribe.*

Branner (page 235) écrit que, à la pointe Nord de l'île d'Itamaracà, en arrière du récif principal, des récifs de *Porites* se développent presque jusqu'au rivage. Nous avons pu constater, en fait, que les *Porites* sont absents de cette formation, composée à près de 90 % de *Siderastrea stellata* Verrill. Il est impossible de penser que la composition faunistique ait pu changer à ce point en moins d'un siècle, d'autant plus qu'une grande partie de cette formation est à base de colonies mortes, subfossiles parfois recouvertes par les sédiments. Il s'agit plutôt d'une erreur de détermination due à Greeley qui accompagnait Branner comme assistant lors de sa dernière expédition en 1899 et qui avait la charge de la partie zoologique. Cette constatation nous a amené à revoir soigneusement tous les endroits où cet auteur avait signalé une abondance particulière de « *Porites solida* Verrill » — dans la plupart des cas la confusion ne fait aucun doute (Dans les flaques des arrecifes par exemple où seul *Siderastrea* arrive à se développer, Greeley (in Branner, 1904) signale des peuplements monospécifiques de « *Porites* » et ainsi de suite). Cette erreur a été souvent recopiée jusqu'à nos jours, le dernier en date étant Mabesoone (1964). Le véritable *Porites solida* Verrill (en fait, vraisemblablement synonyme de *P. astreoides* Lamarck), se trouve toujours en abondance moindre et ne semble pas capable de se développer librement sur un substrat meuble. Un certain nombre de déterminations et de signalisations dues à Greeley sont d'ailleurs douteuses.

Les *Siderastrea* d'Itamaracà semblent se développer de la façon suivante : la larve se fixe sur un petit bloc ou un débris de corail qui est bientôt recouvert et englobé par le développement du polypier : on observe alors (cas fréquent en mode calme) des boules libres de 5 à 20 cm de diamètre, vivantes sur toute leur surface ce qui est dû aux mouvements de la mer à marée haute qui les retournent périodiquement et aussi à la grande résistance de

l'espèce à l'envasement : à partir d'une certaine taille, cependant, le retournement devient impossible et la partie inférieure de la colonie meurt et s'envase. La partie supérieure se développe par épaississements concentriques qui augmentent peu à peu son diamètre alors que sous le poids la masse conique formée tend à s'enfoncer davantage par sa partie vivante (qui tend à s'exercer dans un plan parallèle à la surface du sédiment) conduit alors à des formes en « corne d'abondance » (*fig.* 21). Des formes analogues s'observent chez *S. radians* des Antilles. Ce phénomène permet de comprendre comment un récif peut se développer sur substrat meuble, pourvu que le mode soit suffisamment calme. Nous retrouverons ce mode d'établissement dans les chenaux de certains platiers ou dans les eaux calmes d'un lagon en arrière d'un récif émergeant. L'abondance des colonies est considérable à Itamaracà, elles alimentent les fours à chaux et ont même été utilisées pour la construction d'un épi de protection.

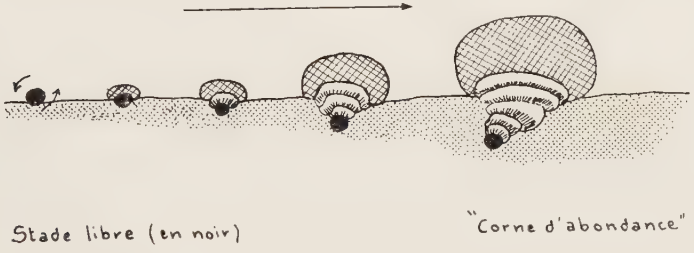


FIGURE 21. — Evolution de *Siderastrea stellata* VERRILL sur substrat meuble (Ile d'Itamaraca) ; La colonie, d'abord fixée sur un petit substrat solide forme d'abord une « boule » libre qui roule sur le fond avec les mouvements de l'eau et reste vivante sur toute sa surface (en noir sur le dessin) ; A un certain moment sa taille lui interdit d'être régulièrement retournée et sa surface inférieure meurt. La partie supérieure se développe alors en « calottes » concentriques dont le poids enfonce peu à peu la base de la colonie dans le sédiment — si la colonie s'affaisse sur un côté, la croissance se continue à la verticale donnant une colonie en « corne d'abondance ».

3° *Le récif corallien de Rio Doce.*

Ce récif s'étend sur plus de 2 kilomètres. L'extrémité méridionale, à 3,3 kilomètres dans le Nord-Nord-Est du phare d'Olinda est partiellement recouverte par la plage actuelle, la partie Nord, au contraire, se termine en pleine eau, à quelques centaines de mètres du rivage, suivie, après une passe et un décrochement vers l'Ouest par le récif de Pau Amarelo. La largeur du platier émergé

dépasse 300 mètres, la hauteur au-dessus du zéro est de l'ordre du mètre.

Le platier, simple au Sud, se dédouble vers le Nord avec une ligne externe étroite, très régulière, séparée par un chenal de la partie interne à laquelle elle est parallèle. Nous donnerons deux coupes pour montrer ces deux types de configuration (*fig.* 22).

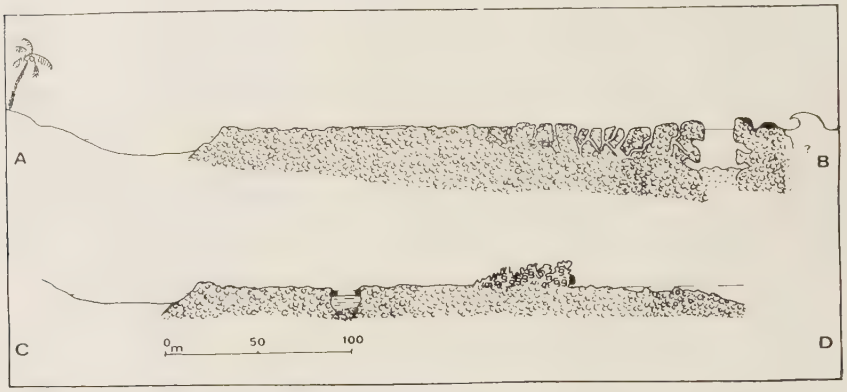


FIGURE 22. — Deux coupes à travers le platier du petit récif corallien de Rio Doce, à quelques kilomètres au Nord de Recife. La coupe montre un chenal d'embarcantion fortement ensablé, un platier large, à flaques peu profondes, une zone externe « perméable », communicant avec la mer par des canaux à travers la masse corallienne et portant des témoins algaux-coralliens érodés, et une ligne externe séparée de la précédente par un chenal et portant une crête algale active.
Sur la deuxième coupe, située au Sud de la première on note d'importantes formations à base de Vermets (*Dendropoma*) dont seule la partie frontale inférieure (en noir sur le schéma) est vivante.

Coupe Nord (coupe AB)

a) *La ligne externe.* — Très peu élevée au-dessus des basses mers, elle est recouverte d'Algues infralittorales et de Zoanthaires; sa partie frontale est un bourrelet algal très net avec dominance des Mélobésiées sur les Vermets. Le front en est rectiligne, sans indentations importantes, il nous a paru presque vertical, mais nous n'avons pu l'étudier à cause du déferlement et de la turbidité. Le tombant intérieur par contre est accessible et s'est révélé accore et localement surplombant avec une morphologie corallienne sur toute sa hauteur (3 à 4 m). Les rares coraux sont *Siderastrea* et quelques *Mussismilia* à faible vitalité. Cette structure se retrouve identique sur le tombant externe de la seconde ligne, sur l'autre rive du canal dont le fond est sableux.

Photo n° 5. — Vue générale du platier du récif de Rio Doce, Pernambuco (texte p. 66, fig. 22). 1) Crête algale morte; 2) Zone des chausse-trapes; 3) Zone des flaques.

b) *Le platier principal.* — Son rebord apparaît semblable à celui de la ligne externe mais plus élevé de 50 à 60 cm; les boules ou bourrelets algaux y sont morts et érodés, parfois couverts de *Palythoa;* ils sont au contraire actifs là où la première ligne s'interrompt. Cette zone qui ne mesure que quelques mètres de largeur est doublée postérieurement par un nouveau bourrelet algal encore plus érodé que le précédent et, semble-t-il, légèrement plus élevé. Cette région frontale asséche complètement à basse mer : on n'y observe aucune flaque permanente, même de petite taille; l'eau qui passe sur le platier par le jeu des vagues retourne immédiatement à la mer par une série d'anfractuosités ou canaux s'enfonçant profondément dans la masse algo-corallienne (« zone des chausse-trapes »). La structure réalisée se rapproche beaucoup de celle décrite par Tracey et al. (1948) sous le nom de « room and pillar structure » dans « l'algal ridge » de certains récifs pacifiques. A marée montante l'eau sort en petites fontaines par les orifices, réalisant la disposition de trous souffleurs. Les peuplements de cette zone sont infralittoraux avec des gazons ras d'Algues rabougries et retenant dans leur feutrage une légère couche de sédiment. La vie semble se réfugier dans les canaux des « chausse-trapes » qui tendent à se combler par la prolifération des Mélobésiées et des

Homotrema. De nombreux *Echinométra* tendent au contraire à augmenter la taille des canaux.

Jusqu'à une cinquantaine de mètres en arrière du rebord la structure ne change guère, cependant les communications avec la mer se colmatent peu à peu, de larges plaques de *Palythoa* (plusieurs mètres de diamètre) s'y développent. C'est également dans cette zone qu'apparaissent de nombreux témoins en relief de *Siderastrea stellata*, morts et plus ou moins érodés, s'enfonçant dans le substrat où ils sont empâtés dons une épaisse couche d'algues calcaires, mortes également. Ces colonies sont à une hauteur de l'ordre de 50 à 60 cm au-dessus du zéro et dominent la surface du platier de 10 à 20 cm, elles ne sont d'ailleurs pas aplaties et encroûtantes comme celles que l'on trouve fréquemment dans les flaques ou les chenaux peu profonds des platiers ou des arrecifes, mais subsphériques, ce qui indique qu'elles ne devaient pas émerger de leur vivant.

Le récif voisin de Praia da Conceição (quelques kilomètres plus au Nord) montre, lui aussi, en place, sur son platier, une grande quantité de coraux morts en position de croissance : *Siderastrea, Mussismilia hispida* (Verrill), ssp. *tenuisepta* Verrill, *Mussismilia harttii* (Verrill), *Porites astreoides* Lmck, *Montastrea cavernosa* (L) et *Millepora alcicornis* L.

Çà et là quelques petits blocs déritiques, jonchent la surface du platier, mais ne constituent jamais une levée de blocs définie, ni même des accumulations notables.

A partir d'une quarantaine de mètres en arrière du bord externe le platier devient étanche, vraisemblablement par cimentation ou ensablement des canaux ou encore à la suite d'un concrétionnement secondaire par des Mélobésiées : c'est ce que nous avons appelé la « zone des flaques ». Celles-ci peuvent être définies ou au contraire diffuses, le platier étant alors couvert d'une mince couche d'eau. Contrastant avec les peuplements très pauvres de la zone perméable des « chausse-trapes » les Algues y sont nombreuses.

On trouve tout d'abord des fllaques arrondies, d'un diamètre de l'ordre du mètre; leur structure fait penser à des micro-atolls de Mélobésiées érodés.

Plus loin le diamètre des flaques augmente, leur fond est ensablé et leur forme irrégulière : la surface de leur plan d'eau se trouve à peu près à 50-60 cm au-dessus du zéro. Parmi la flore on remarque spécialement la grande abondance de *Dictyosphaeria, Halimeda, Anadyomene, Caulerpa* cf. *racemosa*, etc.; pour la faune

Photo n° 6. — Récif de Rio Doce. Bord externe.

c'est celle que l'on trouve sans grand changement sur toute la côte brésilienne dans les flaques de marées, Spongiaires (*Tethya* sp. *Geodia* sp, *Chondrilla* sp. etc...) des Zoanthaires (mais peu de *Palythoa*), *Favia gravida* Verrill dans sa forme cérioide (cf. partie systématique) et surtout *Siderastrea stellata.*

De 50 à 70 mètres au bord externe l'ensablement devient fort, les flaques se comblent d'un sédiment organogène grossier (articles d'*Halimeda,* radioles d'*Echinometra,* tests d'*Homotrema* etc...) sur lequel des ripple-marks apparaissent; ils s'agit d'une véritable caye submersible à un stade initial de développement, avec une faune appauvrie et une couverture algale à base d'Ulves.

De 80 à 300 m à peu près, zones ensablées et flaques se succèdent de façon irrégulière. Les flaques sont caractérisées par une action constructrice actuelle des Mélobésiées sur leur périphérie, à vitalité réduite. Dans certaines s'observent de curieux « micro-atolls » de *Siderastrea stellata* : colonies développées en forme de champignon ou de console dont seule la partie périphérique reste vivante, le sommet étant tronqué net au niveau exact de la surface de la flaque (Il ne s'agit pas ici d'un bourrelet périphérique entourant une dépression centrale mais plutôt d'un micro-platier horizontal).

Photo n° 7. — Récif de Rio Doce, Zone des flaques. Microatolls de *Siderastrea stellata*.

Photo n° 8. — Récif de Rio Doce. Bord interne : noter l'étroitesse du chenal d'embarcation et le témoin (T) de *Montastrea cavernosa* (daté au C_{14}).

On notera à ce propos que la présence de Madréporaires vivants sur un platier émergeant est toujours, au Brésil, liée à l'existence de flaques permanentes, et que c'est le niveau de ces flaques et non celui de la basse mer qui exerce un contrôle sur la croissance verticale des colonies. L'émersion partielle d'un Madréporaire vivant dans une flaque entraîne la mort de la partie exondée dont le squelette est attaqué, sans doute par des Algues filamenteuses et ramené au niveau de la flaque.

La partie postérieure du platier est caractérisée par une bordure clairsemée de « têtes » érodées de *Montastrea cavernosa* (L.), de un à deux mètres de diamètre dont le sommet tronqué se situe entre 60 cm et 1 m au-dessus du zéro; ces formations, fossiles, se trouvent très près du bord interne, délimité par un tombant vertical de près de un mètre de haut, sans peuplements actuels, suivi d'un chenal d'embarcation presqu'entièrement comblé par les sables. Ces témoins ont pu être datés et sont étudiés dans les chapitres de synthèse.

Photo n° 9. — Récif de Rio Doce. Vue de détail du témoin de *Montastrea cavernosa* (Gif 1062 — 3100 ± 120 ans).

Coupe Sud (coupe CD)

Située à 500 m au Sud de la précédente elle s'en différencie par l'absence d'une ligne externe, le front du platier principal étant alors directement soumis à la houle.

Le caractère le plus remarquable est la présence d'une série de formations tabulaires, d'une dizaine de mètres de diamètre et de 1,50 à 1,70 m de hauteur au-dessus de la partie frontale du platier (ici en pente douce) : sur toute leur épaisseur elles sont constituées de Vermets et de Mélobésiées mais on ne trouve de Vermets (*Dendropoma*) vivants que sous forme d'une console, haute de 60 cm au-dessus du zéro, tout le reste étant mort et fortement érodé, notamment la partie supérieure, déchiquetée et couverte de *Tetraclita* (Kempf et Laborel, 1967).

Il s'agit là encore d'un témoin fossile correspondant à un niveau supérieur au niveau actuel.

Sous-chapitre 5. — *D'Olinda à Pedras Petras et au Cap Santo Agostinho* (Région de Récife)

Nous nous sommes attaché à décrire en détail cette région qui, outre son intérêt historique (puisque c'est à Récife que les récifs de grès ont été connus tout d'abord) présente l'avantage d'une grande accessibilité.

Elle a de plus été assez bien étudiée en de nombreux travaux anciens ou récents.

Description générale (*fig.* 23)

Du phare d'Olinda jusqu'à la petite pointe trachytique de Pedras Pretas, il y a à peu près 35 km. Entre ces deux caps, tous deux recouverts par la formation Barreiras s'étend une vaste plaine sédimentaire, correspondant à une assez grande baie, actuellement comblée, profonde d'une quinzaine de kilomètres et comprenant deux rivières principales : le Rio Capibaribe (qui traverse la ville de Recife) avec son petit affluent le Beberibe au Nord, et le Jaboatão et son affluent le Pirapama au Sud, les bassins de ces deux cours d'eau étant séparés par un promontoire de la formation Barreiras (collines Guararapes) qui s'avance presque jusqu'au rivage, à mi-distance entre Olinda et Pedras Pretas.

En survolant la région du Nord au Sud on observe :

— Le promontoire d'Olinda, prolongé vers le large par le banc Olinda de Fora.

— Un premier cordon dunaire, infléchi vers l'Ouest, et à l'abri duquel coule le petit Rio Beberibe. Ce cordon est visiblement construit du Nord vers le Sud.

— L'arrecife du Port émerge brusquement comme un môle et se continue sur plusieurs kilomètres en direction du Sud. Une série d'îles situées en arrière et protégées par ce brise-lame naturel portent les quartiers du Port et le centre de la ville de Recife. Les Rios Beberibe, Capibaribe et Afogados unissent leurs embouchures à l'abri du récif, formant le Port.

OLINDA
RECIFE
Arrecife du Port
Rio Capibaribe
Boa Viagem
Collines Guararapes
Banc de la Base Aérienne
(non émergeant)
Grès (position douteuse) ?
Arr. de Piedade
N
Marais et lagune Olho d'Agua
Recif de Candeias
émergeant
Rio Jaboatão
Barra das Jangadas
R. de Paiva
R. Pirapama
Pedras Pretas

Fig. 23

— A la hauteur de Pina, l'arrecife est rejoint par une flèche sableuse formée par la rive droite du Rio Afogados (Ponta do Pina) et se continue le long des plages de Pina et de Boa Viagem sous forme d'une série de plusieurs lignes de grès parallèles dont les plus internes sont émergées à basse mer et qui disparaissent à la hauteur de Boa Viagem.

— Au large, un banc corallien immergé rectiligne et parallèle aux lignes de grès de la plage s'étend sur plusieurs kilomètres (Banc Tacis et Banc de la Base Aérienne).

- Les collines Guararapes, au Sud de l'Aéroport se rapprochent brusquement du rivage; portant une falaise ancienne, elles ont dû jouer un certain moment le rôle d'un Cap séparant la plaine alluviale du Rio Capibaribe de celle du Rio Jaboatão située au Sud.

— Au Sud des collines Guararapes la plage reste pendant un ou deux kilomètres dépourvue d'arrecifes, puis ceux-ci réapparaissent soudain au large (arrecife de Piédade) avec une disposition comparable à celle de l'arrecife du Port, la plage s'infléchit progressivement vers l'Est jusqu'à les atteindre et les recouvrir.

— Une ligne de récifs coralliens (récifs de Candeias) apparaît alors au large, prolongeant les bancs de la base aérienne derrière eux, le littoral sableux s'avance vers l'Est sous forme d'une large avancée.

— L'estuaire du Rio Jaboatão débouche par une brèche de ces récifs, après avoir longé la côte du Sud au Nord pendant plusieurs kilomètres derrière un cordon sableux étroit et allongé.

— Tout au Sud enfin un récif corallien (récif de Paiva) s'observe sur la plage même, sa partie méridionale disparaît sous les sédiments à peu de distance de la pointe de Pedras Pretas qui, comme celle d'Olinda se prolonge assez loin au large par des affleurements et des écueils rocheux.

On reconnaît dans cette brève description la structure typique d'un ensemble gréso-corallien composé de deux sous-ensembles : au Nord celui du Capibaribe et au Sud celui du Jaboatão.

La carte, reconstituée à partir de la carte d'État-Major de l'Armée brésilienne au 1/25 000e et de nos photographies aériennes) montre les avancées successives du rivage d'Ouest en Est et du Nord au Sud et la situation des différentes formations ainsi que la localisation des coupes étudiées plus loin.

a) Le sous-ensemble du Capibaribe

Olinda. — Il nous a été impossible d'étudier les bancs Olinda de Fora qui s'étendent au large du promontoire d'Olinda. Extrêmement battus toute l'année et couverts par les eaux turbides du Capibaribe, ils sont d'accès très difficile. D'après leur disposition nous pensons qu'ils sont rocheux et peut-être constitués par un affleurement de la Formation Maria Farinha, très bien représentée dans les environs immédiats.

Sur la plage de Bairro Novo, un peu au Nord d'Olinda, Mabesoone (1964) a décrit récemment des grés de plage en formation, dont nous reparlerons plus loin.

L'arrecife du Port. — Du temps des premiers observateurs ce splendide récif de grés était visible sur toute son étendue. Il est actuellement recouvert en grande partie par une digue artificielle batie directement sur sa partie supérieure et sur la dalle sous-marine qui le prolonge au Nord sur près de 600 mètres.

Nous l'étudierons là où il est à la fois le plus complexe et le plus accessible, c'est-à-dire au petit port de pêche de Pina, situé immédiatement au Sud de la digue et constitué par une petite crique en demi-cercle derrière une petite coupure de l'arrecife.

Dans le port de Pina, émergeant seulement lors des plus basses mers on voit tout d'abord une dalle gréseuse plate qui sert en quelque sorte de soubassement à la ligne principale. Celle-ci (que nous noterons L_1 par commodité) s'élève abruptement au-dessus de la précédente pour atteindre sa plus grande hauteur, à près de 3 mètres au-dessus de zéro. Large de quelques dizaines de mètres seulement, sa partie frontale est sapée par la mer, et montre des cassures délimitant des dalles rectangulaires, les cassures parallèles au récif sont généralement concaves. Ce type d'érosion, bien décrit par Branner (*op. cit. pp.* 49, 50, 53, fig. 21, 27, 28, 29 et planches 33, 36, 37 et 39) se retrouve d'ailleurs sur tous les arrecifes. La dalle se termine vers le large par deux cassures successives séparées par une marche de largeur variable. Il y a donc superposition de deux dalles, correspondant apparemment à deux périodes distinctes de consolidation. Les deux ressauts correspondants sont marqués par des concrétionnements morts à Vermets et Mélobésiées, le plus haut correspondant à un niveau supérieur à l'actuel.

La ligne L_1 suit la plage pendant quelques centaines de mètres puis, cachée par le sable, ne reparaît sur une courte distance que sur la plage de Boa Viagem avant de disparaître cinq cents mètres après. Au large de L_1 (dont elle est séparée par un petit canal sableux, avec quelques affleurements rocheux) s'observe la deuxième ligne (notée L_2) observée sur une grande partie de la plage de Boa Viagem, en particulier là où L_1 est cachée sous le sable. Elle est nettement moins élevée et ne découvre qu'à peine en morte eau; elle est recouverte d'une couche de Vermets et de Mélobésiées mortes; elle se décompose elle-même en deux dalles dont la plus au large (L_2 bis) est aussi la moins élevée et la seule à porter une crête algale vivante.

Cette ligne L_2 se ramifie en plusieurs dalles secondaires sur la plage de Boa Viagem, entre les immeubles « Cannes » et « Acaiaca » puis disparaît.

Enfin, n'émergeant jamais et toujours sous 50 cm d'eau apparaît une troisième ligne (L_3), beaucoup plus étroite et régulière que les précédentes qui disparaît en même temps que L_2.

Même sans tenir compte des ramifications terminales de la deuxième ligne, nous voyons donc qu'il y a au moins cinq dalles

différentes constituant trois principales lignes d'arrecifes. En fait il est évident que cette description rapide ne fait que donner une approximation de la structure des lignes de grés dont l'étude nécessiterait un travail séparé.

De la terminaison de L_1, peu après l'hôtel Boà Viagem jusqu'à l'église de Piédade, la plage n'est protégée par aucune ligne de grès, sa pente est plus forte et de beaux croissants de plage s'y développent en particulier pendant l'hiver, les « rip-currents » sont également fréquents et dangereux pour les baigneurs.

Les bancs coralliens des « Tacis » et de la Base Aérienne. — Les cartes marines et les instructions nautiques indiquent devant les plages de Pina et de Boa Viagem deux bancs de « sable et gravier » parallèles à la côte dont ils sont séparés par une dépression profonde de 6 à 8 mètres.

Un premier banc elliptique devant Pina, appelé Banco do Tacis se prolonge vers le Sud par un autre, plus long dit Banco dos Afogados et qui s'étend vers le Sud jusque devant les bâtiments de la Base Aérienne de Recife (d'où le nom de Banc de la Base Aérienne que nous lui donnons dans nos notes de terrain).

Ces bancs qui ne doivent pas être confondus avec les bancs Inglès et Itubà (vraisemblablement constitués, au moins en partie, de sables rejetés par le Capibaribe), n'avaient jamais été étudiés.

Il s'agit d'une formation corallienne en pleine croissance, n'atteignant pas la surface et qui s'étend entre 3 et 12 mètres de profondeur sur une largeur de plusieurs centaines de mètres et une longueur de près de 10 km. L'activité corallienne y est importante, sauf aux extrémités Nord et Sud où l'influence des eaux dessalées et boueuses du Capibaribe et du Jaboatão se fait sentir.

Nous donnons deux coupes de ces formations, la première devant la plage de Boà Viagem, la seconde devant la Base Aérienne.

1. *Devant Boà Viagem.*

Vu d'avion le banc apparaît comme une tache sombre allongée du Nord au Sud; la limite intérieure en est nettement limitée, avec quelques pinacles séparées; la partie centrale, la plus large, présente un aspect tacheté, vermiculé d'innombrables petits chenaux de teinte claire; puis d'W en E, ceux-ci deviennent plus grands, s'orientent transversalement à la direction générale du banc, des chenaux étroits apparaissent, rectilignes ou sinueux et finissent par donner de nombreux sillons parallèles Est-Ouest qui sont autant de petites vallées sableuses séparées par des crêtes coral-

liennes basses de plus en plus étroites en allant vers le large et qui finissent par disparaître.

Nous donnons la coupe d'Est en Ouest, basée sur des observations sous-marines espacées de 200 à 300 m les unes des autres.

— Sur la pente externe : une première station sur la bordure orientale du banc par une profondeur de 15 m (deux kilomètres du rivage) montre un fond uniformément plat, sans trace d'activité corallienne, couvert de Mélobésiées en boules libres ou en petites dalles recouvertes d'Algues photophiles et de Spongiaires. On note également une certaine abondance de Gorgonaires, *Muriceopsis sulphurea* (Donovan), *Plexaurella grandiflora* Verrill et *P. dichotoma* (Esper). Il s'agit là d'un type de peuplement extrêmement répandu qui s'observe depuis les piscines entre les lignes d'arrecifes (vers — 2 à — 3 m) jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur.

— Plus à l'Ouest, une seconde station par — 12 m montre déjà un certain relief, nous sommes là dans la zone des crêtes basses alternant avec des chenaux sableux; la hauteur maximum ne dépasse pas 1 m au-dessus du fond. Aucune trace d'érosion n'est visible sur les côtés arrondis des crêtes. Elles sont formées de *Montastrea cavernosa,* en boules ou en plaques et de Mélobésiées qui consolident des buissons de *Mussismilia harttii,* tous morts. Quelques *Mussismilia hispida* ssp *tenuisepta* en dômes ou en consoles, fixés sur les flancs des crêtes complètent l'inventaire de la faune corallienne, à laquelle se superpose un peuplement algal du même type que dans la station précédente.

— Vers 8-9 mètres la proportion de *Montastrea* dans l'édifice corallien diminue en même temps que celle de *Mussismilia hispida,* l'espèce la plus abondante après *Mussismilia harttii* dont les massifs dépassent deux mètres de diamètre. *Millepora* sp. cf. M. *braziliensis* est commun. Les parties latérales des crêtes tendent à s'élargir par le développement de bouquets de *Mussismilia* et de têtes sphériques de *Siderastrea.* Les autres espèces de Madréporaires, simples accompagnatrices, sont également communes. La flore est bien développée avec abondance de Caulerpes, notamment C. *prolifera* (Försk.), Lamouroux C. *racemosa* (Försk.) J. Agardh de *Dasycladus, Neomeris, Codium* etc... ainsi que des *Halimeda.*

— Dans la région médiane, sur une largeur de 500 mètres à peu près, le banc est à son maximum de développement, la structure en crêtes et vallons tend à disparaître laissant la place à des massifs peu élevés séparés par des taches ou des couloirs.

Nous donnons (*fig.* 24) deux profils, réalisés à l'aide d'une corde graduée de 10 m, qui donnent une idée de la physionomie de ce

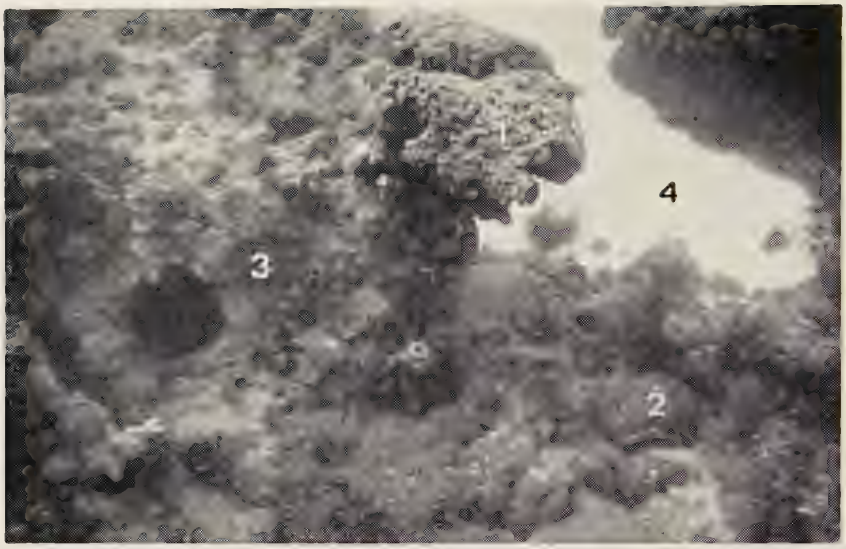


Photo n° 10. — Recife : Banc corallien de la Base Aerea, prof. 4-5 m. 1) *Mussismilia harttii;* 2) *Siderastrea stellata;* 3) Edifices morts de *Mussismilia* 4) Da'le à *Halimeda.*

Photo n° 11. — Recife : Banc corallien de la Base Aerea, prof. 4-5 m. 1) *Mussismilia harttii;* 2) *Siderastrea stellata;* 3) *Millepora* cf. *braziliensis;* 4) Sable à *Halimeda.*

type de fond. Les espèces dominantes sont *Mussismilia hartii* et *Siderastrea stellata,* la première donne des bouquets sphériques, très fragiles (le mode est plus calme que sur la partie frontale du banc car les houles à forte longueur d'onde s'amortissent sur la pente externe), la seconde se développe à la base des massifs qu'elle tend à élargir. *Millepora alcicornis* fait son apparition au sommet des édifices les plus élevés. Dans l'ensemble le peuplement corallien couvre moins de 50 % de la surface disponible et souvent ne dépasse pas 20 %. Les Mélobésiées sont très actives et cimentent les branches de *Mussismilia harttii* entre elles dès la mort de leurs polypes; cette action a pour effet de consolider des édifices extrêmement facile à démanteler (un plongeur peut en quelques minutes raser un bouquet de plus d'un mètre de diamètre) et renforce le rôle constructeur des *Mussismilia.* On notera également la faible abondance des jeunes Madréporaires et des petites espèces non constructrices, l'absence de Gorgones et l'extrême pauvreté de la faune d'accompagnement, réduite à quelques Ophiures, Bryozoaires, Ascidies coloniales etc... Il n'y a pratiquement pas de Stellerides ni d'oursins, les *Diadema,* en particulier, si communs à Fernando de Noronha, sont absents.

FIGURE 24. — Deux coupes obtenues à l'aide d'une corde graduée de 10 m en travers de la partie moyenne du banc corallien de la Base Aérienne de Recife (orientée Nord-Sud). L'espèce constructrice principale est *Mussismilia harttii,* dont les colonies sont souvent encroûtées de Mélobésiées, *Mussismilia hispida tenuisepta* et *Montastrea cavernosa* ont un rôle plus réduit, ainsi que les Millepores. Noter la jonction des massifs de *M. harttii* entre eux par les *Siderastrea* qui se développent au niveau du sédiment ainsi que l'abondance des *Halimeda* dont les articles constituent la plus grande partie du sédiment.

Photo n° 12. — Colonie de *Mussismilia harttii* de plus de 2 m de diamètre. Base Aerea, Recife, prof. 4-5 m.

Photo n° 13. — Banc de la Base Aerea, Recife. Grosses têtes de *Siderastrea stellata*, colonisant les sables à articles d'*Halimeda*.

Le peuplement des surplombs est d'une grande pauvreté et se limite à quelques *Astrangia braziliensis* Vaughan et *Stylaster duchassaingi* Pourtalès; les Spongiaires eux-mêmes sont rares. Les Alcyonaires sont représentés par *Telesto riisei* (Duch. et Mich.).

— Lorsque l'on s'approche du bord interne du banc, les Millepores prennent de l'importance, s'approchant jusqu'à un mètre de la surface. Cette région du banc fait penser en somme à la zone frontale du récif de Tambaù et il est intéressant de noter la ressemblance qui existe entre la pente externe de certains récifs émergeants et la zone la plus interne d'un banc corallien immergé en voie de croissance.

La limite interne est brutale, les derniers pinacles à Millepores tombant abruptement sur un fond de vase par 6 mètres de profondeur.

Entre la terre et le banc le chenal est assez profond (8-9 mètres) et envasé.

2. *Les « canaux en V » de la Base Aérienne.*

Au Sud de Boa Viagem, l'observation aérienne montre à plusieurs reprises de profondes indentations triangulaires de la limite interne du banc corallien, chaque indentation est elle-même remplie par un coin triangulaire corallien si bien que l'on a un chenal sableux en forme de V, dont la pointe est tournée vers la mer et l'ouverture vers la terre. La plus belle de ces formations (*fig.* 25) se trouve en face de l'Hôpital de l'Armée de l'Air, il s'agit de deux chenaux en V accolés par un côté, larges d'une cinquantaine de mètres et longs de 200 ou 300 mètres. Cette figure de dimensions considérables ne peut manquer de frapper l'observateur aérien.

Nous donnons une coupe de la paroi d'un de ces chenaux : la profondeur au fond ne dépasse pas 5 mètres alors que le sommet du banc se trouve à deux mètres de la surface. On ne relève aucune trace d'érosion ou d'hydrodynamisme actif sur le tombant lui-même, formé par une véritable cascade de buissons de *Mussismilia harttii* dont les branches, cassées, apparemment sous l'action de leur propre poids, sont cimentées entre elles par une petite forme fragile et foliacée de *Agaricia agaricites* M. Edw. et H. ssp. *humilis* Verrill espèce qui présente un aspect très différent en mode battu; on trouve d'ailleurs dans le chenal un herbier d'*Halophila decipiens* Ostenfeld, autre caractéristique d'eaux calmes. Les « canaux en V » ne sont donc pas dus à une érosion actuelle. C'est plutôt à un phénomène constructif que nous devrons faire appel pour tenter d'expliquer leur formation.

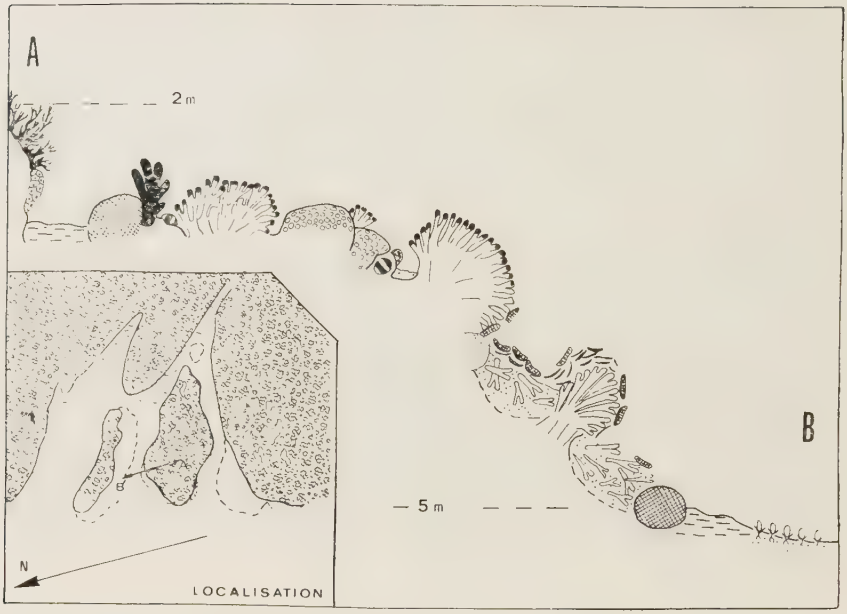


FIGURE 25. — Vue en plan et coupe de la paroi d'un des « canaux en V » du banc de la Base Aérienne de Recife; Noter l'abondance de *Mussismilia harttii* recouvrant le tombant et s'écoulant en talus — les branches brisées sont soudées entre elles par ulne morphose de mode calme de *Agaricia agaricites*.

Le banc corallien Tacis — Base Aérienne est donc une formation complexe et bien différenciée qui apparaît comme pouvant mener à la constitution ultérieure d'un récif ou tout au moins représente un stade assez évolué dans la série qui y conduit. Ces problèmes seront discutés dans la partie synthétique de ce travail.

Nous étudierons plus loni les formations émergées de Candeias qui se situent plus au Sud dans le prolongement du banc.

b) Le sous-ensemble du Jaboatao

Sur deux kilomètres au Sud de l'Hôpital de l'Aéronautique, on observe une interruption du banc corallien au large de la plage, érodée et en pente assez forte. Cette érosion a nécessité la construction, il y a une cinquantaine d'années, d'un enrochement longitudinal destiné à protéger l'église et la route. On observe au pied de cet ouvrage des dalles d'un grés marron clair, peu consolidé, de même litage et inclinaison que les sables de la plage. Il s'agit d'une formation actuelle qui tend à se reconstituer après chaque période

de forte érosion (marées d'équinoxe) et cimente entre eux les blocs de l'enrochement artificiel.

A quelques centaines de mètres au Sud et au large, l'arrecife de Piedade apparaît, tel une digue, à 200 mètres du rivage (*fig.* 26 a).

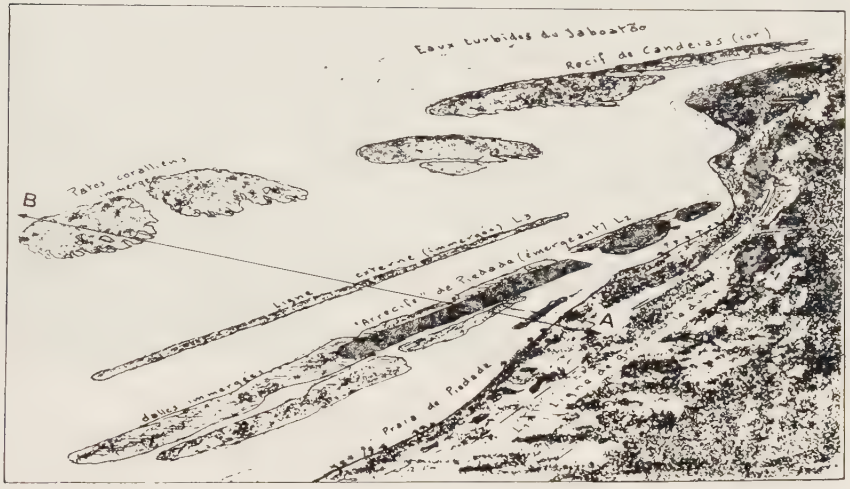


FIGURE 26 a. — Vue aérienne des arrecifes devant la plage de Piedade (d'après une photo aérienne de l'auteur). On notera le caractère composite de la dalle L_2 (la plus importante, formée d'une dalle émergeante reposant sur deux lignes immergées) ; la ligne L_1, invisible, est cachée sous les dunes; la Ligne L_3, la plus externe, est simple. Au large des arrecifes, deux patés coralliens prolongeant vers le Nord le récif corallien de Candeias (au fond). On notera les décrochements successifs de la côte sableuse en direction du récif de Candeias ainsi que la direction de la petite dalle de grès à *Halimeda* sur la plage de Piedade, en arrière de l'arrecife : cette petite dalle est parallèle à la direction de la plage et non à celle de l'arrecife.

Nos observations aériennes permettent de reconnaître à cette formation une structure complexe, soit, du large vers le rivage (*fig.* 26 b).

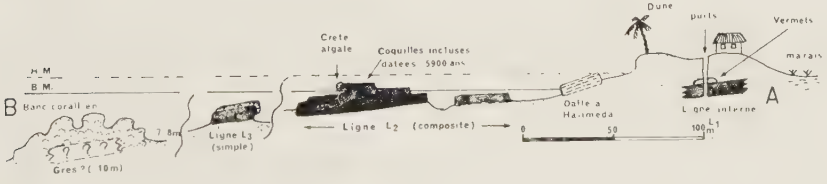


FIGURE 26 b. — Coupe de la figure principale selon le profil A-B (l'échelle verticale est multipliée par 10 par rapport à l'échelle horizontale).

Photo n° 14. — Disposition des formations gréso-coralliennes à Piedade (Pernambuco). 1) Récif corallien de Candeias; 2) Ligne de grés externe; 3) Ligne interne composite; 4) Ligne de grés sous cordon littoral actuel.

— Une ligne de grès étroite et simple, n'émergeant jamais, située entre —3 et —1 mètre approximativement, qui équivaut à la ligne L_3 de Pina.

— Une ligne émergeante formée de deux dalles sous-marines parallèles, supportant une dalle émergée, plus longues de 600 mètres vers le Nord que celle-ci (L_2).

— Sous le rivage et en arrière de la première ligne de dunes, les forages montrent l'existence d'une ligne de grès entre 4 et 5 m au-dessous du niveau du sol (soit à peu près de 0 à 1 m au-dessus du niveau des basses mers) (L_1).

Nous avons pu observer, au cours du percement d'un puits, la surface de cette ligne et en prélever des échantillons : le grès est recouvert d'une couche de sable noir réduit, il montre des traces d'érosion et, surtout est couvert d'une couche de Vermets fossiles en place : ceci établit sans ambiguïté que contrairement aux déductions de Mabesoone, cette dalle n'est pas en cours de formation mais qu'elle a été après sa cimentation, déblayée par la mer, qu'elle est restée exposée pendant un certain temps à une altitude voisine du zéro actuel et qu'elle a finalement été recouverte par les sables.

— Enfin, 500 m au large de la ligne la plus externe se place un petit banc corallien elliptique, qui, avec un autre situé un peu plus au Sud, fait la liaison entre les bancs des Tacis et de la Base Aérienne et les récifs de Candeias.

PHOTO n° 15. — Réapparition de l' « arrecife » de grès (G), de Piedade dans le lit du Jaboatão.

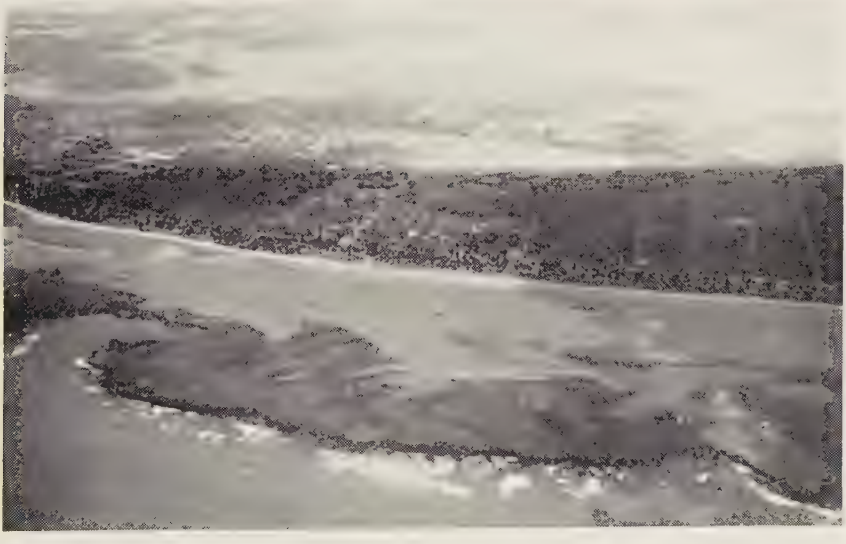


PHOTO n° 16. — Récifs coralliens de Candeias.

— En arrière de l'arrecife, sur la plage, devant l'Institut Océanographique Ottmann (1960), a décrit un banc de grès tendre, de même pente que la plage et que Branner ne semble pas avoir vu (il ne figure pas sur sa carte, *fig.* 35, ni dans son commentaire, pp. 68-69). Il est différent des lignes externes, à la fois par sa granulométrie (Mabesoone, 1964), les restes biologiques qui constituent une partie de sa masse et sa direction, parallèle à la plage et non à l'arrecife.

Les récifs coralliens de Candeias et la Barra das Jangadas.

Ces récifs, décrits par Branner commencent au Sud de Piédade par un petit platier arrondi, émergeant sur une faible partie de sa superficie (platier de Venda Grande) et qui fait la liaison entre les bancs déjà étudiés et le récif proprement dit. La morphologie de ce petit récif est également intermédiaire : seule émerge au Nord une série de têtes coralliennes à *Millepora* avec une crête algale peu développée qui se raccordera à un platier plus large délimitant un chenal sableux profond de 6 à 8 mètres, aux murs verticaux formés de *Montastrea* morts recouverts de Mélobésiées, avec quelques *Stylaster* sous les surplombs.

La partie émergeante forme un platier bas parcouru de canaux à fond de sable à *Halimeda* qui gardent la morphologie de ceux que l'on observe à la partie supérieure d'un banc corallien. La faune y est pauvre avec quelques beaux spécimens de *Porites astreoides* Lmck, des Millepores et l'habituelle abondance de *Siderastrea stellata* Verrill et *Favia gravida* Verrill.

Le récif de Candeias est long de trois kilomètres et découvre à basse mer sur plus de deux cents mètres de largeur.

En vue aérienne il s'oppose, par sa forme, aux récifs rectangulaires de Rio Doce et Praia da Conceicão. Comme celui de Cabedelo au contraire, il est de forme et de largeur irrégulière, en léger arc de cercle, avec de profondes indentations, des piscines circulaires et des passes. Dans le détail on est frappé par la prédominance des lignes courbes à convexité tournée vers le large et la faible inclinaison de la pente externe. Vers la terre la limite du platier est irrégulière avec une succession de saillants portant des chenaux orientés transversalement et des golfes plus ou moins profonds.

Il apparaît remarquable que, malgré une topographie aussi caractéristique, certains auteurs aient pu encore récemment assimiler un tel récif à un banc de grès portant une mince couverture corallienne sur sa partie externe. Ainsi Mabesoone (1964, p. 716, *fig.* 1) le cartographie comme «sandstone reef»: «Only in a few places is coral growing in the investigated area, especially near Piedade and Candeias where often living

corals are collected. However they never constitute whole reefs but they occupy the seaward side of the sandstone. » Il est vraisemblable que quelques excursions en mer ou un simple survol auraient permis à ce chercheur de découvrir les quelques 20 kilomètres de formations coralliennes ininterrompues qui s'étendaient de part et d'autre de son lieu de travail. Il est à peu près certain évidemment que de tels récifs se sont développés sur des lignes de grès immergées, mais par leur épaisseur de l'ordre d'une dizaine de mètres, leur morphologie et leur zonation, il est impossible de leur refuser le titre de récif corallien.

Coupe du récif

— *La pente externe.* D'accès extrêmement difficile elle est en pente douce; à très basse mer, des têtes algales couvertes d'Algues molles ou de *Palythoa* émergent dans les creux des rouleaux sur une largeur de près de 100 m. L'accès par mer étant impossible pour les « jangadas » des pêcheurs, nous n'avons pu y effectuer aucune plongée.

— *La crête algale* est bien développée et on ne peut l'observer sur toute sa surface. Les têtes formées atteignent une taille moyenne de un mètre de diamètre sur 50 cm de hauteur et sont séparées par des cavités profondes en « chausse-trappe » du type déjà observé. Nous avons détruit au pic une de ces boules homogènes. Elle était formée de Mélobésiées avec une proportion de Vermets très faible et creusée de nombreux canaux à section arrondie, de 7 à 10 cm de diamètre (peut être dus à l'action des *Echinometra*) pour la plupart en voie de comblement par des couches concentriques de tests rouge brique d'*Homotrema.* La couche la plus externe formée de Mélobésiées vivantes recouvrait les couches mortes sans zone perforée intermédiaire; il apparaît ainsi que la croissance de la crête algale est continue et actuelle.

Au centre de la boule, soit à peu près au niveau du platier (voisin du zéro des cartes marines), se trouvait un bloc érodé de *Porites* en position de croissance autour duquel la formation concrétionnée était édifiée par couches concentriques successives de Mélobésiées buisonnantes, remplacées peu à peu par des formes encroûtantes (*fig.* 26 c).

La largeur de la « zone des boules » est de l'ordre d'une vingtaine de mètres; puis la structure du récif se colmate, les chausse-trapes disparaissent et des flaques irrégulières apparaissent, dont le fond est constitué de débris coralliens roulés et cimentés par des Mélobésiées. L'attaque par les *Echinometra* y est extrêmement active. On note la diminution relative des Rhodophycées et l'envahissement par les Caulerpes et les *Halimeda,* les flaques contiennent quelques *Favia* et *Siderastrea* et de nombreux Zoanthaires.

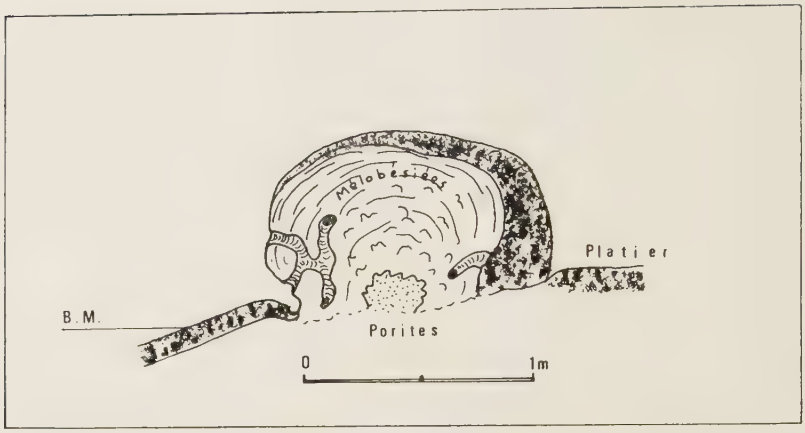


FIGURE 26 c. — Coupe en travers d'une « boule » de la crête algale du récif corallien de Candeias; noter au centre une colonie érodée de *Porites* englobée dans la masse.

— *Les « piscines »* (qui peuvent atteindre une cinquantaine de mètres de large) appparaissent comme d'anciennes indentations de la partie frontale du récif isolées par la croissance vers le large des Mélobésiées. Du point de vue biologique ce sont des zones privilégiées aux eaux calmes et transparentes à marée basse : les peuplements de leurs bords sont essentiellement à base de Chlorophycées (grande abondance d'*Halimeda sp.*).

Sur les parois, en plus des espèces habituelles, on note l'abondance de *Porites branneri* et de *Mussismilia harttii*, de nombreuses branches ou bouquets arrondis de cette dernière espèce s'observent même seulement plantés dans le sédiment ou coincés dans une fissure, la base étant cassée et non ressoudée. De telles « boutures » peuvent atteindre une trentaine de centimètres de diamètre et un poids de plusieurs kilogrammes. L'espèce la plus importante est, une fois de plus, *Siderastrea stellata* qui constitue près de 80 % de la masse construite. Les « piscines » sont donc en voie de comblement biologique actif, malgré une sédimentation assez forte.

En arrière de cette zone, le platier, localement ensablé, porte quelques taches de *Palythoa* et des peuplements algaux à Sargasses. Les flaques y sont riches en *Porites astreoides*. Ces caractères indiquent un niveau peu élevé (ce platier n'émerge qu'aux très basses mers). En certains points s'observent quelques têtes érodées de *Siderastrea* sous une couverture de Mélobésiées.

Tout à fait en arrière, de plus en plus ensablé (ou même envasé vers le Sud) apparaît le tombant interne qui n'est bien caractérisé que dans la partie Nord, près de Candeias. L'espèce la plus caractéristique y est *Montastrea cavernosa* avec quelques *Porites astreoides* et *Millepora* sp. cf. *M. braziliensis*.

— *Le chenal d'embarcation*, large et peu profond au Nord va en se rétrécissant et se comblant vers le Sud. A proximité de l'estuaire les bancs sableux rejoignent le récif et le recouvrent, l'envasement est net (vase noire riche en matières organiques, d'origine vraisemblablement fluviale).

— *L'embouchure du Jaboatão* se place dans une brèche du récif. En vue aérienne on distingue sur le bord Sud de la passe des formations coralliennes évidemment mortes immergées directement dans l'embouchure. En hiver, quand les alizés de Sud-Est atteignent leur force maximale les eaux boueuses de la rivière longent à marée basse la bordure externe du récif. A marée haute un courant d'eaux dessalées (jusqu'à 26 ‰) s'établit dans le chenal d'embarcation et suit la côte vers le Nord jusqu'à Piédade expliquant la pauvreté des peuplements du tombant interne.

Le récif de la Plage de Paiva.

Au Sud de l'embouchure du Jaboatão, le long de la plage de Paiva, un récif corallien long de plus de 1 km et large de plusieurs centaines de mètres termine l'ensemble Olinda - Pedras Pretas vers le Sud. Sa partie Nord se trouve légèrement au large du rivage et sa partie Sud est partiellement ensablée.

C'est un platier rectangulaire, un peu plus élevé que celui de Candeias et caractérisé par l'abondance des têtes coralliennes mortes et érdoées; on observe sous les sables du littoral des blocs en place de *Porites* et de *Siderastrea*, noircis et érodés à plus de 50 cm au-dessus du zéro des cartes. Le platier est parsemé de formations tabulaires à base de Vermets et de Mélobésiées, mortes, disposées irrégulièrement sur le bord externe et dont la partie supérieure est déchiquetée et couverte de *Tetraclita*. Une de ces buttes est actuellement ensablée. Une telle disposition près du rivage, les témoins coralliens, les formations tabulaires de Vermets mortes, sont autant de points communs avec le récif de Rio Doce étudié au sous-chapitre précédent et qui, lui aussi termine un ensemble vers le Sud. Nous verrons ultérieurement quelle signification peut avoir une telle identité de structure et de situation.

La pointe Pedras Pretas

C'est un petit cap trachytique, prolongé vers le large par une série de hauts fonds de même nature avec peut-être une légère couverture corallienne sur sa bordure externe, d'ailleurs inaccessible.

On peut remarquer également, directement installées sur la plate-forme d'abrasion des formations de Vermets tabulaires mortes, analogues à celles de Paiva et de beaux « récifs » de *Phragmatopoma*.

Le cap de Pedras Pretas marque la limite Sud de l'ensemble.

Le petit ensemble incomplet Pedras Pretas - Cap Santo Agostinho

Entre ces deux pointes s'étend une baie de quelques kilomètres, la baie de Gaibù où ne débouche qu'un ruisseau. BRANNER y a décrit un récif de grès qui épouse la courbure de la plage. Sa structure est simple et il n'est précédé vers le large d'aucune formation corallienne. La localité de Gaibù est cependant importante pour cette étude puisque c'est là que nous avons récemment décrit (VAN ANDEL et LABOREL, 1964) plusieurs lignes de Vermets fossiles dont la plus haute, datée de 3660 ± 170 par le ^{14}C, se trouve à 2,60 m au-dessus de la ligne actuelle.

Sous-chapitre 6. — *Du Cap Santo Agostinho à l'île de Santo Aleixo* (Recife-Maceio, I)

Cet ensemble s'étend sur trente kilomètres et s'ordonne de la façon suivante :

— Du Cap Santo Agostinho dont il est séparé par une passe large de quelques centaines de mètres, un splendide récif de grès, l'arrecife de Suapè, s'étend vers le Sud-Ouest, parfaitement rectiligne sur onze kilomètres, délimitant à l'Ouest la Lagune de Suapè où confluent les rios Suapè, Ipojuca, Merepe et Tatuoca. Cet arrecife, très connu, et dont on trouve une description détaillée dans le travail de BRANNER est certainement le plus beau de toute la côté brésilienne; il se termine en disparaissant sous les sables de la plage, après s'être dédoublé sur une longueur de trois kilomètres.

— Au Sud, succédant à l'arrecife et décalés vers l'Ouest, s'observent trois récifs coralliens : celui de Cupè, peu épais et laissant deviner l'existence de plusieurs bancs de grès sous-jacents, celui de Porto de Galinhas, long de deux kilomètres et dont la direction est déviée vers l'Ouest et enfin le grand récif de la Pointe de Serramby, long de quatre kilomètres (*fig.* 27).

Nous donnerons une série de coupes situées aux endroits les plus intéressants.

a) LA POINTE DU CAP SANTO AGOSTINHO.

Elle est formée de roches granitiques modelées en dalles lisses très inclinées.

A la pointe extrême du Cap, au pied de l'ancien fort, et dans le prolongement de l'arrecife s'observe un lambeau de grès long d'une centaine de mètres et large de vingt, plaqué sur le granite. Cette formation avait déjà été décrite par BRANNER qui en concluait à juste titre

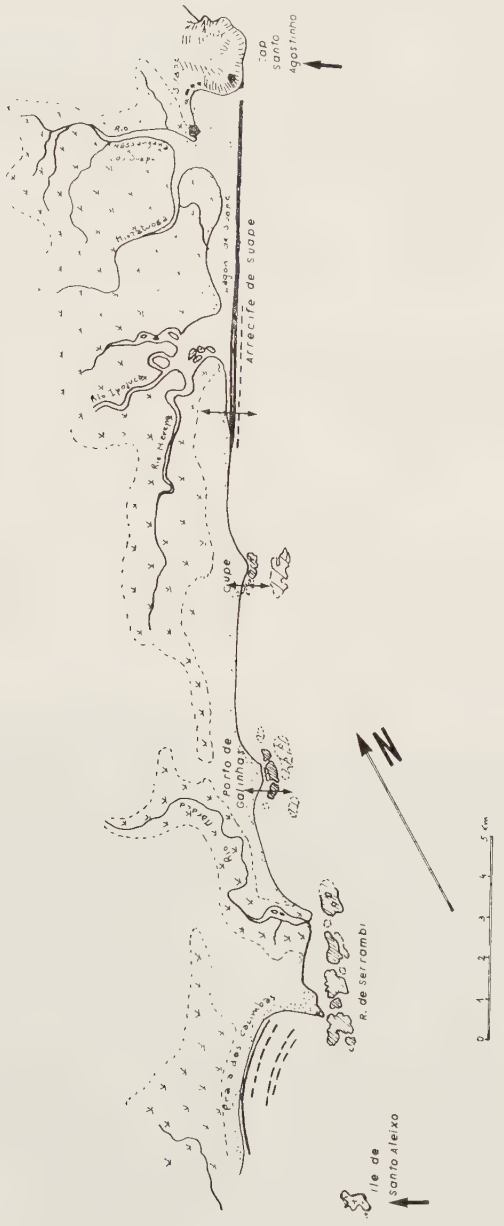

Cap
Santo
Agostinho
Récif de Suape
Suape
Porto de
Galinhas
R. de Serrambi
Ile de
Santo Aleixo
N
0
1
2
3
4
5 Km

Fig. 27

que la passe de Suapè par laquelle sort à basse mer un très violent courant était une brèche secondaire dans la ligne de grès initialement interrompue de la plage de Cupè au Cap Santo Agostinho.

Il est pratiquement impossible d'étudier les abords du cap à cause de la hauteur des rouleaux et de la force des courants de marée.

Les peuplements marins indiquent un mode extrêmement battu, on y observe de plus des lignes de Vermets fossiles correspondant aux niveaux de Gaibù. La ligne inférieure recouvre les grès.

Très peu de coraux s'observent dans les flaques à marée basse, ce sont surtout des colonies encroûtantes de *Favia gravida* sous sa forme méandroïde et quelques *Siderastrea.*

b) La lagune de Suapè.

Elle peut se diviser en deux parties : un fond de lagune enserré entre les granites du Cap et le banc de sable de l'estuaire du rio Suapè (voir la carte) et la lagune proprement dite, allongée du Sud au Nord, formée de bancs de sable submergés dans lesquels les quatre rios se sont creusés un lit étroit et profond, atteignant une quinzaine de mètres de profondeur. Le « fond de lagune », devant le village de Suapè porte des herbiers de *Diplanthera* sp. bien développés, avec un peuplement du substrat meuble à *Encope emarginata* (Leske) et *Oreaster reticulatus* (L.), ce fond sableux est interrompu à plusieurs reprises par des affleurements de grès couleur chocolat que l'on observe fréquemment dans la région en arrière des arrecifes et dans le sous-sol des plaines alluviales côtières.

Photo n° 17. — « Arrecife », lagon et passe de Suape.

En direction de la passe le fond change brusquement et devient rocheux, constitué de blocs arrondis de granite provenant de la décomposition en boules des assises du Cap Santo Agostinho. Le mode devenant de plus en plus battu et les courants violents, les peuplements algaux à dominance de Phéophycées s'installent avec l'Actiniaire *Stoichactis helianthus* (Ellis) (det. Diva Diniz Correia) et *Isaurus* sp. cf. I. *duchassaingi* (Andres) (ce genre de Zoanthaires encore jamais signalé des côtes brésiliennes n'a été rencontré par nous qu'au voisinage du Cap Santo Agostinho (Suapè et Gaibù) sur substrat rocheux et mode battu).

La partie méridionale de la lagune est couverte d'herbiers de Diplanthères, au-delà de l'embouchure du rio Ipojuca, elle se rétrécit rapidement, enserrée entre le cordon dunaire côtier et l'arrecife et quelques *Laguncularia* arrivent à se développer directement au contact de ce dernier sur des bancs de vase.

Un trait morphologique intéressant est la profondeur du chenal des rivières en arrière de l'arrecife : de 10 à 15 mètres, ce qui contraste avec celle de la passe (moins de 5 mètres) et du lit des rivières. Nous retrouverons ce surcreusement derrière le récif du Rio Formoso.

c) L'arrecife de Suapè.

Simple et fortement attaquée par la mer dans sa partie Nord, la ligne de grès principale montre, trois kilomètres au Sud de la passe une forte érosion, de nombreuses cassures perpendiculaires divisant la dalle de grès en éléments rectangulaires qui basculent soit du côté de la mer soit dans le lit de la rivière. Comme l'épaisseur des dalles ne semble pas dépasser trois mètres il s'agit là d'un phénomène qui pourrait éventuellement aboutir à une dislocation totale.

Plus au Sud, l'arrecife devient double, composé de deux dalles principales superposées et légèrement décalées, ce qui entraîne l'existence d'un sillon central contenant une flaque permanente, longue de 3 kilomètres, large d'une cinquantaine de mètres et profonde de 30 centimètres, à peu près; l'érosion biologique par les *Echinometra* y est active et spectaculaire, en même temps que s'y développe un peuplement dense de *Favia gravida*.

Nous donnons de cet arrecife une coupe détaillée montrant la place des différents faciès observés de l'intérieur vers l'extérieur (*fig.* 28).

1. *Tombant interne de l'arrecife.* — Formé de gros blocs plus ou moins basculés. En arrière s'observent soit des bancs de sable très vaseux à mangrove (*Laguncularia* et quelques *Rhizophora*) soit un sillon profond de quelques dizaines de centimètres à deux mètres dont le fond est constitué d'un sable argileux noirâtre.

2. *Zone postérieure.* — Elevée de plus de 2 mètres au-dessus des grandes basses-mers, elle est complètement désséchée à marée basse et porte des peuplements à *Littorina ziczac* (Gmelin) et Chthamales (limite supérieure de l'étage médiolittoral).

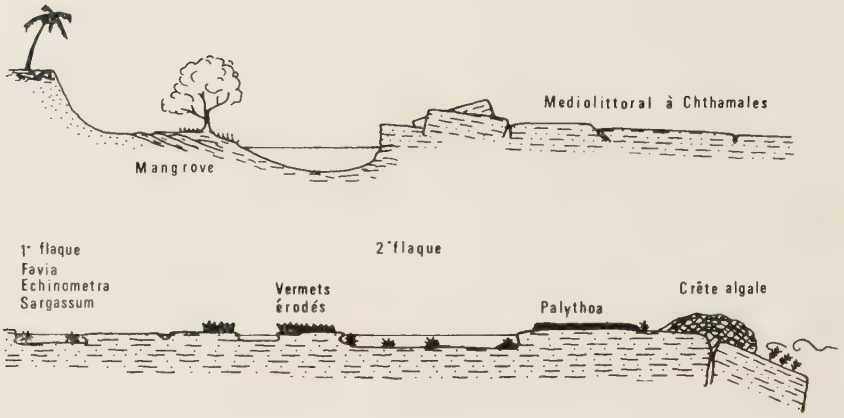


FIGURE 28. — Coupe du récif de grès (arrecife) de Suapè à l'endroit indiqué sur la carte de la *fig.* 27. Noter le niveau mort à Vermets et le développement de la crête algale; la hauteur moyenne de l'arrecife au-dessus des basses mers est de plus de 2 mètres, le mode extrêmement battu explique le grand développement vertical de la crête algale.

3. *Flaque principale* à *Favia* et *Echinometra.* Peuplements algaux infralittoraux à Mélobésiées et Phéophycées.

4. *Niveaux fossile à Vermets* (*Petaloconchus*). Correspondant à un niveau marin légèrement plus élevé (moins d'un mètre) que l'actuel. Cette ligne peut se trouver suivant les endroits en avant ou en arrière de la grande flaque. Les peuplements correspondant à ce niveau sont médiolittoraux avec *Brachydontes sp., Crassostrea rhizophorae* Guilding, *Littorina nebulosa* Lamarck (det. M. KEMPF).

En avant de la première flaque se situe généralement un ressaut qui doit correspondre à la partie postérieure de la dalle externe qui a comme la précédente un pendage vers la mer.

5. *Deuxième ligne de flaques,* plus battue que la précédente, elle porte sur ses bords des plaques de *Palythoa,* l'érosion par les *Echinometra* y est forte, les peuplements sont plus riches (Sargasses, Caulerpes, Spongiaires, etc...).

6. *Région frontale.* — Elle porte une belle crête algale tout à fait comparable à celle d'un récif corallien, les Vermets n'y ont semble-t-il, qu'un rôle secondaire (KEMPF et LABOREL, 1967). Les bourrelets de Mélobésiées semblent s'installer directement en placage sur le bord externe cassé et basculé du banc de grés qu'ils protègent.

L'agitation permanente interdit d'étudier le prolongement sous-marin de l'arrecife vers le large; il semble, d'après certaines photographies, qu'il y ait une 3e ligne immergée parallèle à l'arrecife principal comme à Boà Viagem et Piedade.

d) Récif de Cupe.

Petit et fragmentaire il émerge sur moins d'un kilomètre mais n'en détermine pas moins une importante avancée du littoral sableux en direction de son platier. La figure montre l'aspect peu évolué de ce récif, dont les peuplements sont d'ailleurs dégradés. On observera au Sud du platier légèrement au Sud du village, deux lignes parallèles dont nous avons effectué une coupe (*fig.* 29).

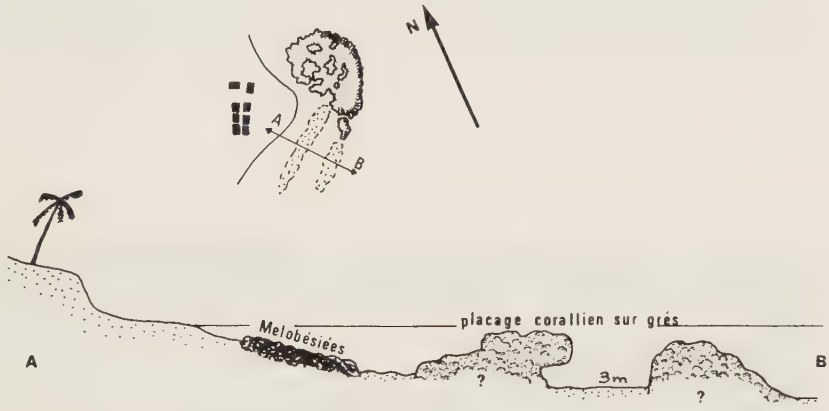


Figure 29. — Coupe, légèrement au Sud du platier émergeant, du petit récif corallien de Cupe (voir localisation *fig.* 27). Noter la dalle de Mélobésiées vivantes et le double banc, immergé à basse mer, qui repose vraisemblablement sur des lignes de grès.

On rencontre d'abord une dalle partiellement enfouie sous les sables de la plage et couverte d'un placage de Mélobésiées à thalle mince et frisotté formant une structure légère assez particulière. Ensuite la ligne principale, émergeante et couverte de Vermets érodés, paraît entièrement corallienne et ne laisse pas voir le banc gréseux sur lequel elle s'appuie sans doute. Cette ligne montre du côté du large un surplomb au ras du sédiment. On note très peu de Madréporaires vivants.

Au large les photographies aériennes montrent un banc corallien immergé sous 4 ou 5 m d'eau, allongé et parallèle à la direction du récif; il n'a pu être exploré.

Photo n° 18. — Grésification actuelle. Plage de Peidade.

Photo n° 19. — Plage de Piedade. Dalle de grès tendre très récent à articles d'*Halimeda* et fragments de *Tetraclita*.

e) Récif de Porto de Galinhas.

Plus étendu et complexe que le précédent dont il est séparé par une plage de près de trois kilomètres; ce récif est aussi plus riche et sera étudié en détail (*fig.* 30).

Il se présente sous la forme de trois blocs principaux, grossièrement rectangulaires et séparés par deux passes dont la plus septentrionale mesure 6 à 8 mètres de profondeur. En avant de ce passage s'étend un banc corallien immergé sous 4 à 5 mètres d'eau. Le bloc septentrional et le bloc central sont à peu près alignés, le bloc méridional apparaît par contre nettement dévié vers l'Ouest, ce qui fait que l'ensemble du récif affecte grosso modo la forme d'un arc, derrière lequel le rivage s'avance sur près de 500 mètres. La plage arrive au contact de la partie postérieure du platier, entièrement morte et ne découvrant pas; Branner signalait devant le village un banc de grès à pendage vers la mer, qui, d'après lui, devait passer par dessous le récif et en constituer les fondations; or, au contraire, nous avons pu constater que ce banc passe par dessus l'arrière-platier et qu'il est donc plus récent que le récif. Par sa texture, sa situation et sa composition (en particulier l'abondance des articles d'*Halimeda*) cette dalle nous paraît être l'homologue de celle décrite par Ottmann (1960) et par Mabesoone (1964) sur la plage, derrière l'arrecife de Piedade.

Étude du récif

1. *Pente externe.* — Son inclinaison et son extension horizontale varient beaucoup : pratiquement verticale au débouché des passes, elle prend une grande extension devant le platier central où elle s'étend sur près d'une centaine de mètres. L'observation directe de cette zone extrêmement battue ne s'est révélée possible qu'en un point situé près de l'extrémité Nord du bloc le plus septentrional du récif. Il s'agit d'une ancienne passe qui s'est refermée sous l'action constructive des peuplements de ses parois; cette suture est encore visible à la surface du platier. Du côté du large le mécanisme de la fermeture est bien visible, ce sont des piliers et des draperies de *Montastrea cavernosa* qui constituent à la fois les parois et le plancher d'une espèce de cuvette débouchant par un orifice étroit entre deux piliers dans l'indentation externe du front du récif. Sur les parois verticales de cette échancrure exposées au large nous avons pu noter la zonation suivante (*fig.* 31).

De haut en bas :

— La crête algale, peu développée à cause de l'abri partiel apporté par la masse du platier contre les houles de Sud-Est. Les intervalles entre les houles de Mélobésiées sont couverts d'un placage de *Palythoa* et sont érodés par les *Echinometra*.

N
Piège à poissons
500 m
0
Crête algale
Boules algales
Déferlements
Pente externe inaccessible
Banc coralien
Sables à articles d'Halimeda
Crête morte érodée
Platier bas, à flaques
Blocs
surplombs
dalle de grès
Scolymia

Fig. 30

PHOTO n° 20. — Témoins coralliens recouverts par la plage, Praia do Paiva (Pernambuco).

PHOTO n° 21. — Gaibu. Trous d'Echinometra fossiles. Phases d'érosion : 1) Détachement d'une plaque d'érosion; 2) Cupule résiduelle d'un trou d'*Echinometra*.

Photo n° 22. — Cabo Sto. Agostinho, ligne de vermets fossiles. Niveau de 0,5 m.

FIGURE 31. — Bloc diagramme de la pente externe du récif de Porto de Galinhas (Pernambuco) dans une petite crique de l'extrémité Nord (*ffg.* 30). De haut en bas : Zone des boules algales, plus ou moins couvertes de *Palythoa;* Zone à *Millepora alcicornis;* Zone à *Mussismilia harttii, Millepora* cf. *braziliensis* et *Mussismilia hispida tenuisepta;* au-dessous zone à *Montastrea cavernosa* formant des « draperies » et des « pyramides »; Au contact du sédiment développement de boules de *Siderastrea stellata.* Le fond est à 7 mètres, la présence d'un herbier d'*Halophila decipiens* indique un mode relativement protégé.

— Une zone à *Millepora alcicornis* formant un encorbellement entre la limite des basses mers et un ou deux mètres de profondeur.

— Une zone à *Mussismilia harttii* en bouquets de près de un mètre de diamètre. On y trouve les espèces suivantes : *Millepora* sp. cf. *M. braziliensis, Siderastrea stellata, Mussismilia hispida* ssp. *tenuisepta.*

— Une zone à piliers et draperies de *Montastrea cavernosa,* haute de près de trois mètres, avec quelques *Mussismilia hispida* et des *Siderastrea* au contact du sédiment.

— Le fond, à 7 mètres, est sablo-vaseux, avec des ripple-marks et un herbier d'*Halophila.*

Cette zonation extrêmement tranchée est certainement la plus belle que nous ayons pu voir sur les côtes du Nordeste; là où la pente externe est plus battue et moins verticale, le nombre de colonies vivantes diminue et la zone supérieure à *Palythoa* et *Echi-*

Photo n° 23. — Porto de Galinhas. Vue générale. 1) Banc coralien externe; 2) Emplacement de la coupe de la *fig.* 31; 3) Dalle de grès tendre à *Halimeda* sur la plage, recouvrant le platier.

nometra tend à gagner en profondeur; quant aux Millepores ils ne forment plus un encorbellement continu mais des édifices isolés. Il est de même pour *Mussismilia harttii* qui ne peut se développer en mode très battu. Le trait le plus constant, partout ailleurs, est la présence d'un tombant inférieur à *Montastrea.*

2. *Le platier.* — La coupe est analogue à celles étudiées jusqu'à présent depuis Cabedelo. On trouve en allant de la mer vers le rivage (*fig.* 32) :

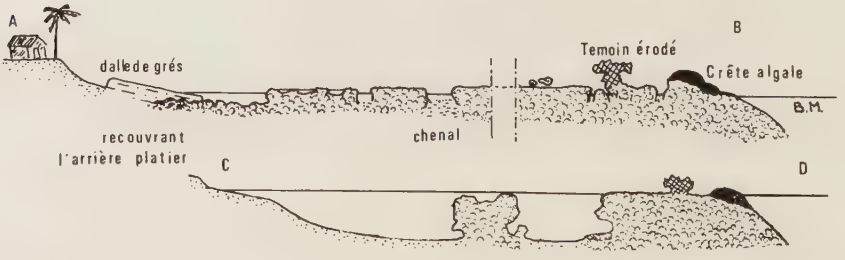


Figure 32. — Deux coupes dans le récif corallien de Porto de Galinhas selon les profils indiqués sur la fig. 30. Noter la dalle de grès organogène à *Halimeda* qui recouvre la partie postérieure du platier (à comparer avec Branner, 1904, p. 78, fig. 48). Pour une coupe détaillée du pinacle d'arrière récif voir fig. 33.

— Une zone de déferlement inaccessible avec une crête algale en boules et des plaques de *Palythoa* s'étendant sur une amplitude totale (approximative) de un mètre autour du niveau des basses mers les plus fortes.

— Une zone de « chausse-trapes », perméable et desséchée à basse mer, dont la partie élevée est disséquée et couverte de *Tetraclita;* la vie y est, comme sur les autres récifs, réfugiée dans les les fissures, avec abondance d'*Anadyomene* et d'hydraires. On note la présence locale de nombreux blocs coralliens roulés, ne formant pas une levée individualisée. La zone érodée se prolonge sur une cinquantaine de mètres et des flaques y apparaissent en même temps que le relief disparaît; les Cliones sont alors très abondantes et doivent jouer un rôle considérable dans l'évolution du platier.

— Une centaine de mètres en retrait du bord externe apparaît une deuxième zone de relief, encore plus érodée que la précédente qui pourrait marquer un stade ancien du développement du récif.

— On entre enfin dans une zone de grandes flaques et de chenaux plus ou moins colmatés entre lesquels font saillie des « îlots » de Madréporaires morts situés au-dessus de leur niveau biologique, en particulier *Montastrea cavernosa* et *Millepora alcicornis.*

— Enfin le tombant postérieur où les deux espèces précédentes se retrouvent vivantes avec *Porites astreoides, Agaricia agaricites, Millepora* sp. cf. *M. braziliensis* et *Siderastrea stellata.*

— Dans la partie méridionale du récif s'observent, en retrait par rapport au platier principal, un certain nombre d'assez gros pinacles coralliens arrondis dont nous donnons une coupe (*fig.* 33).

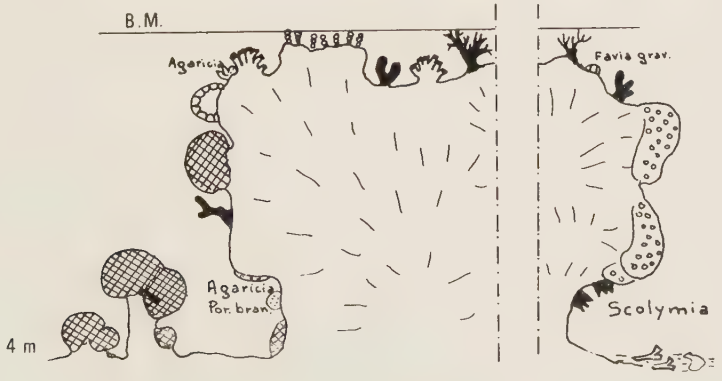


FIGURE 33. — Coupe à travers un pinacle de l'arrière récif de Porto de Galinhas (fig. 30, coupe Sud et Fig. 32), l'Océan se trouve sur la gauche. Noter l'absence de zonation bien définie, les grosses colonies de *Montastrea* et le développement en pinacles secondaires de *Siderastrea stellata;* noter l'abondance des *Agaricia agaricites* aussi bien en position photophile que sciaphile et la présence de *Scolymia wellsi* sous les surplombs.

La zonation y est plus confuse que sur le tombant externe et les Millepores, les *Siderastrea* et les *Montastrea* y constituent le plus gros de l'édifice. Un trait intéressant de ces dernières formations y est l'importance des *Mussidae : Mussismilia hispida* ssp. *tenuisepta* y est abondant et très morphosé; on y observe en particulier de nombreux échantillons dont les centres calicinaux sont reliés par des septes de vallée (« lamellar linkage » des auteurs anglo-saxons). Il s'agit apparemment d'une simple modification phénotypique d'origine inconnue et qui était considérée jusqu'à présent comme typique des genres indo-pacifiques de *Mussidae* et du genre caraïbe *Mycetophyllia* (d'ailleurs absent des côtes brésiliennes). Il est curieux de noter que cette grande variabilité des populations de *Mussismilia hispida* est caractéristique des localités à récifs bien développés alors que celles des régions dépourvues de récifs (Fernando de Noronha, Cabo Frio, Ilha Grande) ou encore celles de la zone subrécifale sont constituées d'échantillons à faible variabilité morphologique.

On notera aussi pour la première fois la présence du *Mussidae* solitaire *Scolymia wellsi* Laborel, que l'on trouve par petites « familles » d'individus généralement de même couleur sous les surplombs de l'arrière récif. C'est là la signalisation la plus septentrionale de cette espèce sur les récifs, alors qu'elle se trouve, dans la zone subrécifale, jusque sur les côtes du Ceará.

Une autre caractéristique intéressante du récif de Porto de Galinhas (comme de ceux de Cupè et de Tamandaré) est la grande rareté des Gorgonaires et l'absence de *Phyllogorgia dilatata* (Esper.).

3. *Les passes.* — Il y en a deux principales, caractérisées par des parois verticales et un fond sableux à articles d'*Halimeda*. Peu profondes (1 à 2 m) au niveau du platier elles s'approfondissent brutalement à la hauteur de l' « algal ridge » leur fond descendant en talus rapide jusqu'à 7 ou 8 mètres de profondeur.

Une passe secondaire, rétrécie fortement en plusieurs endroits, et presque entièrement comblée par du sable à *Halimeda*, coupe en diagonale le platier principal et débouche sur le front du récif par un très petit canal obstrué par des têtes de Mélobésiées.

Conclusions.

Il s'agit d'un récif évolué dans lequel on a du mal à reconnaître à travers l'épaisseur des formations coralliennes (qui est de l'ordre d'une dizaine de mètres), la forme et la direction des bancs de grès qui en forment vraisemblablement le soubassement.

En vue aérienne on est frappé par l'aspect peu différencié du bord externe : pas de structure en rainure ou en sillons, certains détails du platier se continuent sans changement à l'extérieur de la ligne de déferlement (c'est ainsi que l'on observe dans cette zone deux « piscines » arrondies à fond de sable telles que l'on en observe sur la partie postérieure du platier).

Les peuplements coralliens sont les plus denses sur les parties les moins battues de la pente externe, sur le tombant intérieur et sur les pinacles abrités en arrière du platier (partie Sud du récif). Cependant le nombre de colonies par unité de surface reste partout faible, les jeunes de *Montastrea, Mussismilia harttii* et *M. hispida,* sont rares, alors que la taille moyenne des échantillons récoltés est assez élevée, beaucoup de colonies de petite taille se révélant n'être que des reprises d'activité locales.

Comme beaucoup de récifs du Nordeste il semble que celui de Porto de Galinhas soit actuellement dans une phase de vitalité réduite.

L'essentiel de l'activité est le fait des Algues : Mélobésiées et Algues molles; cependant l'érosion biologique (Cliones, Chlorophycées et Cyanophycées endolithes, *Echinometra* et autres organismes perforants) n'est intense que sur la partie émergée du platier; partout ailleurs le bilan de croissance du récif apparaît positif, grâce aux Algues calcaires, aux Millepores (notamment M. cf. *braziliensis*) et à *Siderastrea stellata.*

f) Récifs de la Pointe de Serramby.

Trois kilomètres à peu près au Sud de Porto de Galinhas ils forment un massif allongé interrompu par plusieurs passes et long de 4 km dont la morphologie est la même que celle du précédent; cependant, on doit noter la présence, dans la zone protégée par le platier, de l'embouchure d'une rivière de faible débit qui a fortement ensablé le récif dans sa partie centrale.

Comme nous l'avons dit plus haut les 3 récifs du Cupè, Porto de Galinhas et Serramby paraissent situés sur une courbe à grand rayon qui serait au Nord tangente à la direction de l'arrecife de Suapè et s'appuyant au Sud sur l'île de Santo Aleixo, laquelle sert elle-même de point d'accrochage à la partie externe des récifs de l'ensemble de Tamandaré. Cette île joue donc un rôle considérable dans la morphologie du littoral, il est vraisemblable qu'elle a dû constituer, pendant la remontée flandrienne du niveau marin un cap rocheux d'une importance comparable à celle du Cap Santo Agostinho, mais n'étant qu'un simple pointement la remontée de la mer l'a coupée du littoral, créant en arrière la baie qui s'étend entre la pointe Serramby et l'embouchure du Rio Formoso.

Nous n'avons jamais eu l'occasion de visiter l'île. Elle est formée de roches éruptives. Branner (1904) y signale un petit « calcareous reef » (très vraisemblablement une formation superficielle à Vermets et Mélobésiées) sur le rivage interne.

g) Les arrecifes entre Serramby et la Pointe de Serinhaem.

Le rivage forme en arrière de l'île Santo Aleixo une pointe sableuse, la Pointe de Serinhaem, protégée par un certain nombre d'arrecifes. Une première ligne émergée et rectiligne, longue d'un kilomètre s'observe au large de la Pointe, dans l'embouchure du Rio Serinhaem, après une interruption elle se continue vers le Nord en se recourbant parallèlement à la plage pendant à peu près deux kilomètres. Lorsque cette ligne émergée disparaît elle est relayée, le long de la plage de Cacimbas par un arrecife émergé au même niveau et épousant la courbe de la plage. En avant de ce dernier s'observent quatre lignes immergées également courbes, situées entre un et trois mètres de profondeur et dont la plus au large rejoint le soubassement des lignes de Serinhaem. La carte montre bien la complication de ces formations gréseuses qui se rattachent par leur extrémité Nord aux récifs de la Pointe de Serramby (*fig.* 27 et *fig.* 34).

Figure 34. — Carte de l'île Santo Aleixo à la pointe Ilhetas, montrant les récifs de grès de Rio Formoso et les récifs coralliens de Tamandaré. Noter la position de la ligne de grès externe. D'après les cartes d'Etat-Major, la carte marine brésilienne DHN 905, et nos photographies aériennes obliques.

Sous-chapitre 7. — *De l'île Santo Aleixo à la Pointe Ilhetas*

(Recife-Maceio, II)

Long d'une trentaine de kilomètres, cet ensemble présente par rapport au précédent un certain nombre de complications, la plus remarquable étant la présence, à l'extérieur des formations coral-

liennes, d'une ligne immergée de bancs gréseux non recouverts de Madréporaires. Cette ligne s'étend presque sans interruption à une profondeur de 5-6 mètres avec un minimum de 2 à 3 mètres depuis la Pointe d'Ilhetas, traverse la baie de Tamandaré et atteint presque au Nord l'île de Santo Aleixo.

On observe du Nord au Sud les formations suivantes :

— *L'embouchure du Rio Formoso et l'arrecife du même nom :* la rivière voit son cours fortement dévié vers le Nord par le récif de grés, haute de près de deux mètres au-dessus du zéro (comme ceux de Récife et de Suapè) qui la borde sur sa rive droite. Cette disposition a été décrite en détail par Branner (1904, pp. 81-88) qui en a donné également une série de schémas et de coupes.

Au Sud l'arrecife apparaît d'abord sur la plage de Campas puis, passant sous une pointe sableuse débouche sur la plage de Carneiros, séparé seulement de la rivière par un large banc sableux triangulaire.

On observe deux passes principales, la première ou « barreta » est peu profonde et ne semble affecter que la ligne gréseuse interne, doublée au large d'une série de bancs coralliens peu épais, plaqués sur un banc de grés parallèle à l'arrecife. La seconde ouverture, beaucoup plus large et profonde représente la passe principale de la rivière; de l'autre côté s'observe un platier corallien rectangulaire émergeant et situé dans le prolongement des bancs déjà cités.

Comme dans la lagune de Suapè les eaux de la rivière ont provoqué un surcreusement d'une quinzaine de mètres qui a sapé et fait basculer d'énormes dalles de grés sur la partie interne de l'arrecife et près de la grande passe.

La coupe (35 a) montre d'Ouest en Est :
— Le lit surcreusé de la rivière
— l'arrecife principal
— la dalle externe recouverte de Madréporaires.
— Enfin la ligne de grés la plus externe, la plus au large entre 3 et et 5 m de profondeur.

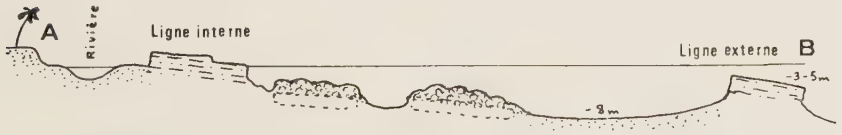


Figure 35 a. — Coupe des arrécifes et de leur couverture corallienne devant l'embouchure du Rio Formoso suivant le profil indiqué sur la figure précédente. Noter la ligne d'arrécife externe.

— *Les récifs coralliens de Tamandaré :* En face de la pointe sableuse qui recouvre l'arrecife du Rio Formoso à son extrémité Sud s'étend un platier arrondi développé en éventail vers le large, vraisemblablement basé sur la dalle externe de l'arrecife et développé ultérieurement vers l'extérieur.

Un certain nombre de platiers analogues caractérisés par leurs formes arrondies s'observent ainsi le long de la plage jusqu'à la pointe de Lira; dans certains transparaît la forme des grés sous-jacents.

Au large on observe une ligne discontinue de platiers étroits et allongés. Enfin entre la pointe de Lira et la Baie de Tamandaré s'est développé un large platier dont seule la partie externe émerge et qui frappe immédiatement en vue aérienne par son bord interne littéralement tracé au cordeau : les coraux s'y sont visiblement installés sur une ligne de grés et à partir de celle-ci se sont développés vers le large de façon assez irrégulière.

Ce n'est pas sans surprise que nous avons pu constater au large de ce récif la présence, vers 5 mètres, d'une dalle de grés, non colonisée par les Madréporaires, prolongement de la ligne externe, passant à quelques mètres seulement en avant de la pente externe (coupe).

Étude biologique

a) Les récifs arrondis du Nord (Praia de São Pedro).

Leur structure est assez curieuse : en effet, développés en arrière des lignes extérieures, donc protégés en partie de la houle, ils ne montrent pas de crête algale développée, leur bord externe se présente sous la forme d'un petit tombant de deux ou trois mètres surplombant à la base et formé de très grosses colonies rameuses de *Millepora* sp. cf. M. *braziliensis* Verrill qui forment la quasi totalité de la masse construite; près de la surface les frondaisons des Millepores sont peu à peu cimentées par des Algues calcaires passant insensiblement à un platier dans lequel on distingue encore la forme des colonies qui ont participé à l'édification. Ce platier est couvert de peuplements algaux denses (surtout à base d'*Halimeda*) puis montre un certain ensablement et se termine par un petit tombant interne à *Siderastrea* et Millepores (*fig.* 36).

L'activité des *Siderastrea* au niveau du sédiment, formant des masses libres (du type de celles observées à Itamaracà), la forme

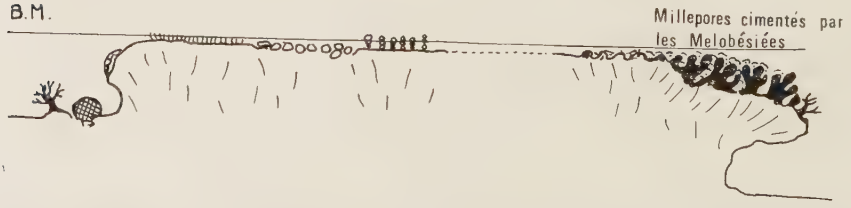


Figure 36. — Coupe schématique d'un des platiers coralliens arrondis situés en arrière de la igne externe. L'essentiel de la structure est constitué par *Millepora* sp cf. *M. braziliensis*, dont les branches supérieures sont soudées entre elles par des Mélobésiées.

arrondie du platier et l'absence de formations érodées paraissent montrer que ce type particulier de récif s'est développé rapidement dans des conditions favorables et abritées, il semble que ses fondations soient aussi établies en grande partie sur substrat meuble, surtout dans sa région la plus extérieure.

b) Le récif externe devant la Pointe de Lira.

Nous donnons ici une coupe depuis sa bordure interne rectiligne jusqu'à la dalle de grès immergée qui le précède ainsi qu'un bloc-diagramme des peuplements de sa pente externe (*fig.* 35 b, 37 et 38).

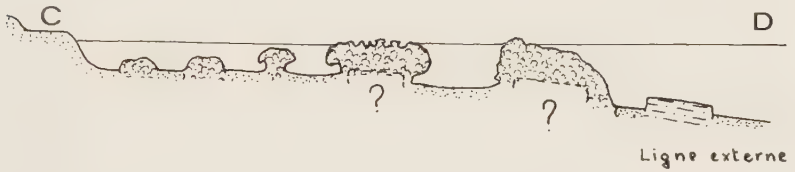


Figure 35 b. — Coupe des formations coralliennes de la Baie de Tamandaré suivant le profil indiqué sur la figure 34. La dalle de grès se retrouve en avant des formations coralliennes. Noter le grand développement des surplombs en arrière du récif principal.

On constate que l'arrière récif est anfractueux et à base de *Millepora alcicornis* et *Mussismilia hartii* qui forment l'essentiel de la charpente; la vitalité actuelle est faible, il n'y a pratiquement aucun Gorgonaire et l'essentiel de la couverture vivante est constitué par des peuplements algaux à Halimedes, Caulerpes et Mélobésiées. On notera, que sous les surplombs les plus accentués (qui parfois forment des tunnels), se développe une certaine abondance de *Scolymia wellsi* dont c'est ici la localité type. Le platier émergeant possède des peuplements analogues à ceux de Porto de Galinhas et une crête à Vermets et Mélobésiées morte et disséquée. Quant à la pente externe elle est très pauvre et l'on y reconnaît la zonation habituelle. Nous n'avons pratiquement pas vu de Madréporaires (sauf quelques *Siderastrea*) sur la dalle de grès.

La Baie de Tamandaré, bordée au Nord par un petit platier isolé du récif précédent, possède une passe relativement profonde — 7 à 8 mètres — en travers de laquelle d'après les sondages de la Marine brésilienne (carte n° 905), passe une ligne de bancs à faible relief qui pourraient être le prolongement de la dalle de grés extérieure.

Notons aussi que la même carte montre des formations irrégulières (sans doutes coralliennes) au large de la dalle externe, augmentant

FIGURE 37. — Bloc diagramme de la pente externe du récif corallien de la Baie de Tamandaré (voir localisation fig. 34 et 35 a). On note la pauvreté des peuplements par rapport à ceux de la figure 31, l'absence d'une zone inférieure à *Montastrea* et la dalle de grès non recouverte par les Madréporaires.

encore la complexité d'une structure que, malgré plusieurs missions de plusieurs jours, nous n'avons pu parvenir à explorer complètement.

La baie de Tamandaré est fermée au Sud par la pointe sableuse Ilhetas où deux petits rios se jettent derrière une série de platiers émergeants de forme irrégulière dont l'étude de détail n'a pu être effectuée. Au Sud de la pointe apparaissent, sur le rivage et au large, une série d'écueils et de pointements granitiques (Pedra do Conde, Pedra do Porto, etc...) il est vraisemblable qu'une partie au moins du récif de la pointe Ilhetas se soit édifiée sur des pointements analogues.

FIGURE 38. — Coupe montrant la partie centrale, agrandie, de la figure 35 b, pour mettre en évidence le grand développement des surplombs en arrière de la ligne externe du récif de Tamandaré. Noter les formations à Vermets érodées en « champignon » sur le platier, et la présence de *Scolymia wellsi* dont c'est ici la localité type.

Résumé et interprétation de l'ensemble.

La complexité particulière des formations que nous venons d'étudier vient vraisemblablement en grande partie de la présence au Nord de l'ensemble de l'île de Santo Aleixo. La ligne de grès la plus externe représenterait la trace d'une plage presque ininterrompue qui allait d'Ilhetas à Santo Aleixo, pour un niveau marin de l'ordre de — 4 à — 6 mètres (il est difficile de donner une estimation exacte car la partie Nord de cette ligne atteint deux mètres de profondeur et la partie Sud 5 à 6 mètres sans que nous ayons pu la suivre dans son détail sur près de quinze kilomètres). Il est donc impossible de donner une idée précise de la structure fine de la ligne externe.

Une étude poussée demanderait une série de petits forages, de façon à évaluer l'épaisseur de la masse construite et ses rapports avec les bancs de grès sous-jacents. Un certain nombre d'indices laissent soupçonner une complication plus grande que dans le cas des ensembles précédemment étudiés. Nous reviendrons sur ces problèmes dans la partie synthétique de ce travail.

Sous-chapitre 8. — *De Tamandaré à Maceiò et à l'embouchure du fleuve São Francisco*

Il est regrettable que la faiblesse de nos moyens nous ait empêché de continuer notre prospection sur les quelques cent kilomètres qui s'étendent entre Tamandaré et Maceiò d'autant plus que nous n'avons pu survoler ce secteur de côte, qu'à bord d'appareils commerciaux, les lignes aériennes s'écartant du littoral entre Recife et Maceiò et ne permettant qu'une vue très lointaine et imparfaite des récifs.

Ceci est d'autant plus facheux que l'étude des cartes marines met en évidence dans cette région un certain nombre de phénomènes intéressants.

a) Embouchure du Rio Una.

Au Sud de la pointe Ilhetas cette rivière est déviée par une « restinga » de près de trois kilomètres dirigée du Nord au Sud. Une semblable disposition Nord-Sud se retrouve dans les embouchures des rios Manguaba et Santo Antonio Grande ainsi que d'une petite rivière située entre Porto de Pedras et São Miguel dos Milagres. De plus, la carte montre un chevauchement Nord-Sud

très net pour une longue ligne de récifs coralliens situés au large de Maragogi, l'extrémité méridionale du récif Nord étant au large de l'extrémité septentrionale du récif Sud.

On assiste donc, à partir de Tamandaré vers le Sud, à une inversion soudaine de la direction générale des restingas, donc des courants côtiers. La nouvelle direction Nord-Sud coïncide avec celle du courant du Brésil.

b) Prédominance des récifs coralliens sur les arrecifes.

Nous disposons pour cette région des observations précises de Branner (1904, pp. 88-93) qui ne signale en effet que deux arrecifes courts, légèrement courbés et disposés d'une façon à peu près symétrique autour des embouchures des rios Sapucahy et Pratagy qu'ils protègent. L'un d'eux, voisin de Sapucahy recouvre même, d'après Branner, un récif mort; comme cet auteur ajoute qu'il s'agit d'un banc de grès mou et riche en Mollusques et fragments d'Algues calcaires (vraisemblablement articles d'Halimeda) il y a peu de doutes qu'il ne s'agisse d'une dalle de grès du type de celle observée à Porto de Galinhas qui, elle aussi, est superposée à un platier. Au large court une ligne pratiquement continue de récifs coralliens, situés à une distance variable de la côte; un certain nombre s'observent également morts, plus ou moins recouverts par les sables du rivage. A certains endroits, comme le lieu-dit Ponta do Mangue, la hauteur des coraux morts au-dessus des basses mers serait considérable (plus de deux mètres) et la masse construite de nombreuses têtes subfossiles de *Siderastrea*.

Il s'agit donc d'une région riche et complexe dont l'étude détaillée devra être effectuée ultérieurement.

Les récifs de Maceiò.

S'il nous a été impossible de visiter la côte au Nord de Maceiò nous avons pu par contre, grâce à la grande amabilité de M. Jean Lopez, Directeur de l'Alliance Française de Maceiò, effectuer récemment un séjour dans cette ville.

Les récifs de Maceiò sont séparés des précédents par une interruption d'une quinzaine de kilomètres, entre Punta do Prego et Punta Verde. Ils consistent essentiellement en un grand platier triangulaire portant le phare de Punta Verde et en partie recouvert par cette pointe, et une série de platiers parallèles devant la plage de Pajuçara (*fig.* 39). Ces récifs ont été étudiés par Greeley (*in* Branner, 1904) qui, le premier a signalé l'appauvrissement de leur faune par rapport à celle des Abrolhos.

FIGURE 39. — Carte des formations récifales du Port de Maceiò (Alagoas) d'après la carte brésilienne DHN 901. Les flèches indiquent les endroits étudiés.

Le platier de Punta Verde (Punta da terra dans la toponymie locale) est massif et aplani, il émerge de près de un mètre à basse mer et sa partie postérieure est composée de corail mort et de Mélobésiées érodées.

Sur sa partie externe on observe une crête algale érodée montrant de beaux remplissages de chenaux aboutissant à la formation de trous souffleurs. Un certain nombre de piscines montrent des peuplements pauvres. Il s'agit donc d'un récif actuellement peu actif en partie recouvert par les sédiments. Les récifs de Pajuçara, légèrements plus au Sud, sont plus riches malgré leur exploitation pour l'industrie de la chaux : leur caractéristique la plus intéressante est l'existence d'un peuplement luxuriant d'*Agaricia agaricites* var. *humilis* avec *Favia gravida, Montastrea cavernosa, Palythoa* sp. et *Echinometra lucunter* sur leur partie arrière, peu profonde et soumise à de fortes élévations de température (eau dépassant 35°).

La partie frontale de ces récifs est apparemment inactive et l'on n'observe pratiquement pas de Madréporaires sur la pente externe; par contre les tombants sont, comme à Porto de Galinhas, frangés,

entre 4 et 8 mètres de profondeur par des « draperies » de *Montastrea cavernosa*. Nous donnons ici une coupe à travers les récifs de Pajuçara montrant la répartition des espèces (*fig.* 40).

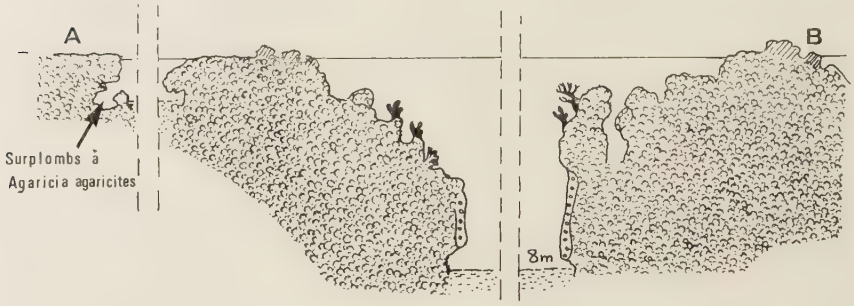


FIGURE 40. — Coupe à travers le récif de Pajuçarà, Port de Maceiò, selon le profil A B de la figure précédente. Les peuplements coralliens sont pauvres sur la pente externe jusqu'à une profondeur de 4-5 m où apparaissent les « draperies » de *Montastrea*.

Agaricia agaricites et *Favia gravida* sont particulièrement abondants dans les « piscines » dont l'eau dépasse 30° à basse mer.

Il est intéressant de noter que *Scolymia wellsi*, indicateur d'eaux claires, est assez rare sous les surplombs, on note cependant l'apparition sur le récif de quelques *Diadema*, genre que nous n'avions pratiquement jamais observé sur les récifs du Nordeste, mais seulement dans la zone subrécifale vers 30 m et en quelques rares localités (Suapé).

La côte au Sud de Maceiò.

Entre Maceiò et l'embouchure du São Francisco (*fig.* 41), s'étend une côte caractérisée par l'abondance de lagunes allongées perpendiculairement au rivage et qui sont des vallées ennoyées dont l'ouverture a été colmatée; devant le débouché des trois principales (Lagoas do Norte, Manguaba et Jiquia) s'étendent des arrecifes dirigés du Nord vers le Sud. Un banc de grés immergé d'une longueur de plusieurs kilomètres s'étend devant l'embouchure du Rio Coruripe, sa partie externe nous a paru, en vue aérienne, porter de petites formations coralliennes qui seraient ainsi les plus méridionales de tout le groupe récifal des côtes du Nordeste.

L'embouchure du Rio São Francisco (9°,30′ S, 36°,25′ O) marque la fin de la région biologique; son survol permet d'observer, quelle que soit la saison, les eaux turbides du fleuve formant un demi-cercle d'une dizaine de kilomètres de diamètre.

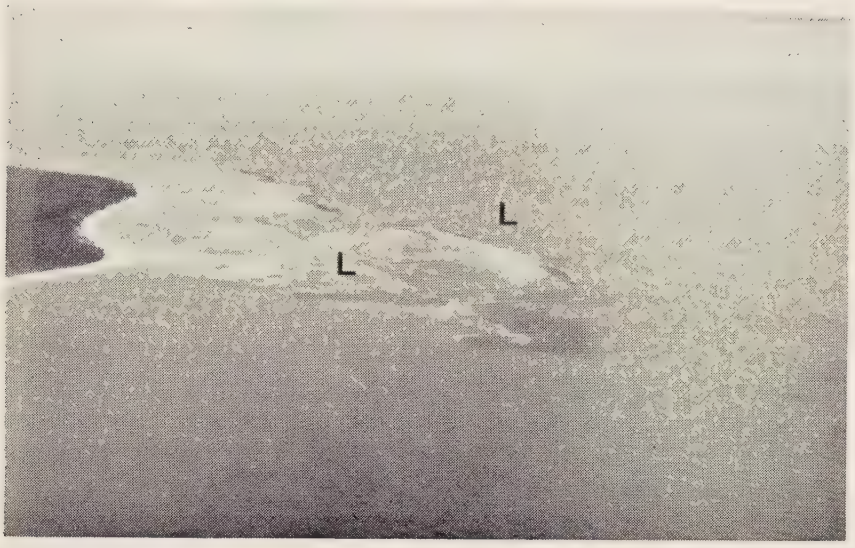


Photo n° 24. — Récif Nord de la Baie de Tamandré. L : lignes de grès sous-jacentes, imposant leur morphologie au récif corallien.

L'étude sédimentologique et biologique de cette région est en cours par les équipes de l'Institut Océanographique de Récife sous la direction de M. Kempf et J. M. Mabesoone. Les cartes marines montrent, au Nord et au Sud de l'embouchure, un éloignement du littoral de l'isobathe 20 mètres qui correspondrait aux dépôts sédimentaires du fleuve, cette « écharpe sédimentaire » s'étendrait, d'après les documents fragmentaires dont nous disposons, à une distance 70 ou 80 kilomètres vers le Sud, soit jusqu'à l'estuaire du Rio Vasa Barris, lui-même assez important.

Nous avons eu la possibilité de survoler à plusieurs reprises toute la région comprise entre Maceiò et Salvador. Si l'on peut voir quelques petits arrecifes devant des rivières de faible débit entre Aracajù et Salvador, on ne commence à observer de pointements rocheux sur le littoral, susceptibles de porter des peuplements coralliens, qu'au Sud du Rio Tariri : on doit donc considérer qu'une zone dépourvue de substrat dur et partant de formations coralliennes s'étend sans interruption entre la pointe de Peba (20 kilomètres au Nord de l'embouchure du São Francisco) et le Rio Inhambape (situé à 140 kilomètres au Nord de Salvador) soit sur une distance totale de 250 kilomètres à peu près. La côte y est partout basse et sableuse, bordée de dunes actives surtout au Sud du São Francisco (Praia Santa Isabella).

Chapitre V

LES COTES DE L'ÉTAT DE BAHIA ET LES ABROLHOS

Cette région, étendue entre le douzième et le dix-huitième parallèle est physionomiquement très variée et ne présente pas de formations récifales aussi homogènes que la précédente. Cependant, son importance est considérable du point de vue biologique, d'abord parce que c'est le long de cette côte qu'est atteinte la richesse maximale des peuplements et de plus, à cause de l'existence du plus grand groupe de récifs de toute la région brésilienne, celui qui entoure l'archipel des Abrolhos.

Sur cette côte souvent basse et marécageuse, les communications sont difficiles et beaucoup de localités n'ont pu être visitées.

Nous diviserons la région en secteurs qui seront étudiés avec plus ou moins de détail.

Nous reconnaîtrons du Nord au Sud :

— La côte entre le Rio Tariri et la ville de Salvador,
— La Baie de Tous les Saints,
— L'île d'Itaparica,
— La côte d'Itaparica à la Pointe de la Baleine,
— L'archipel des Abrolhos et les récifs qui l'entourent,
— La région des estuaires des rios Mucury, São Matheus et Doce.

Sous-chapitre 1. — *Entre le Rio Tariri et la ville de Salvador*

Sur plus de 150 kilomètres la côte est basse et bordée de dunes; peu à peu, cependant, apparaissent des pointements rocheux de plus en plus développés dont le plus notable est la pointe Guarajuba (12°,38′ S et 38°04′ W). Ces affleurements se prolongent généralement jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur et, ainsi que cela se produit généralement peuvent porter des peuplements coralliens.

Nous n'avons pu étudier que la partie la plus méridionale de ce secteur entre Itapoà et Barra, immédiatement au Nord de Salvador, grâce à l'aide fournie par les autorités militaires du Port.

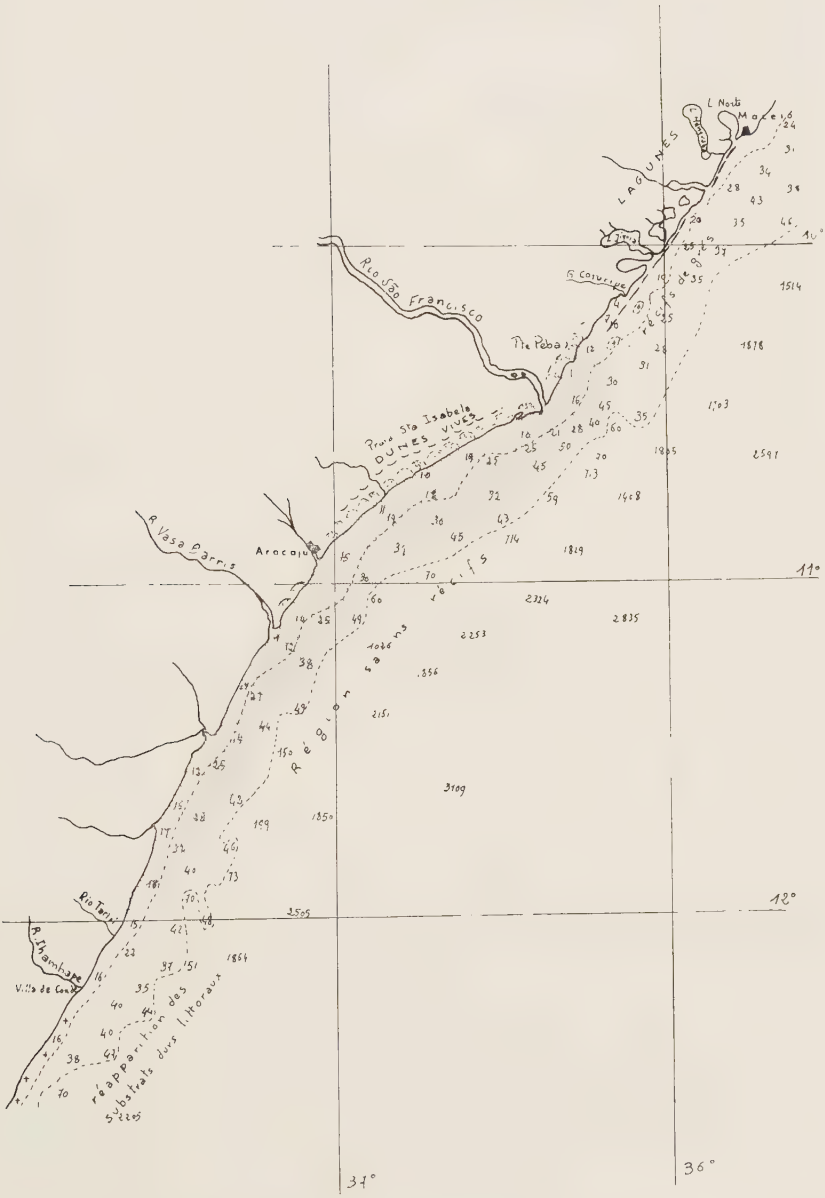

L Norte
Maceió
LAGUNES
Rio São Francisco
Pte Peba
Praia Sta Isabela
DUNES VIVES
Aracaju
récifs
10°
11°
12°
Villa de Conde
réapparition des substrats durs littoraux
37°
36°

Fig. 41

Devant le phare d'Itapoà, les vagues déferlent sur des écueils formés de roches du socle (gneissiques), l'agitation, comme à Fernando de Noronha, empêche le développement d'édifices coralliens notables : Un certain nombre d'espèces sont cependant abondantes, parmi lesquelles deux revêtent une importance particulière; en effet, pour la première fois, nous rencontrons *Mussismilia braziliensis* Verrill et *Millepora nitida* Verrill, espèces complètement absentes au Nord du São Francisco. Le fait qu'elles soient présentes à Itapoà laisse entendre qu'elles peuvent remonter plus au Nord tout au moins jusqu'à la Pointe Guarajuba. Leur disparition correspondrait à l' « écharpe sédimentaire du Rio São Francisco » déjà signalée. Les autres espèces couramment rencontrées sont *Siderastrea stellata, Favia gravida, Mussismilia hispida* (dont les formes sont ici intermédiaires entre les sous-espèces *tenuisepta* (Verill) et *hispida* Laborel) et *Porites branneri;* la faune d'accompagnement est pauvre et comprend surtout *Diadema* sp.

Il s'agit d'un peuplement non constructeur parce que se développant en mode trop battu, la seule espèce à atteindre une taille notable est *Mussismilia braziliensis.*

Quelques kilomètres plus au Sud, dans des anses abritées s'observent également *Millepora alcicornis* et *M. sp. cf. braziliensis* et des Gorgones (*Plexaurella* et *Phyllogorgia*).

Enfin, dans la région de Barra qui marque l'ouverture de la Baie de Tous les Saints les *Phyllogorgia* deviennent plus abondantes et la faune d'accompagnement s'enrichit en Spongiaires, Ascidies et Hydraires.

Sous-chapitre 2. — *La Baie de Tous les Saints*

Orientée du Nord au Sud, large d'une trentaine de kilomètres et s'étendant sur près de cinquante dans sa plus grande dimension, cette splendide baie est profonde d'une trentaine de mètres en moyenne dans sa partie méridionale, largement ouverte sur l'océan. Des profondeurs de plus de vingt mètres se trouvent encore dans de nombreux chenaux de sa partie septentrionale, véritables rias en rapport avec les cours d'eaux débouchant dans la baie.

Une ligne orientée Nord Sud et joignant la pointe de l'Ile do Frade à la côte orientale de l'Ile d'Itaparica coupe la Baie de Tous les Saints en deux parties d'importance comparable; nous n'avons malheureusement pu observer que la plus orientale.

Grâce à l'amabilité de Monsieur Taxman, ingénieur de la cimenterie d'Aratù, nous avons pu effectuer plusieurs sorties à partir de la baie d'Aratù (profonde et envasée sans aucun développement de Madréporaires) en direction de l'Ilha da Maré et de la pointe

Toque Toque, au Nord de São Thomé do Paripe (carte *fig.* 42). La pointe Toque Toque est constituée de sédiments Mésozoiques (vraisemblablement Jurassiques et Crétacés, série Bahia des géologues brésiliens) ; ces formations (exploitées depuis 1939 pour le pétrole qu'elles renferment) se trouvent en abondance sur tout le pourtour de la Baie. Il s'agit ici de roches à forte schistosité, gréseuses ou argileuses, facilement attaquables par l'érosion marine et qui donnent, en dessous du niveau des basses mers une plate-forme peu profonde, s'approfondissant par des ressauts successifs correspondant à des strates plus résistantes.

FIGURE 42. — Carte de la Baie de Tous les Saints montrant l'emplacement des station étudiées. D'après la carte marine brésilienne DHN 1100.

— A l'Ouest de la Pointe Toque Toque, et entre celle-ci et la Pointe Ponta de Areia, s'observe un haut-fond très peu accidenté entre 3 et 4 mètres de profondeur. Le peuplement y est unique en son genre sur les côtes brésiliennes : il s'agit d'une dense prairie d'un Alcyonaire : *Neospongodes* sp. (actuellement en cours d'étude par F. H. Bayer), fixé sur des pierres ou des débris de coraux, et de Gorgonaires : *Plexaurella dichotoma, Muriceopsis sulphurea* et *Phyllogorgia dilatata* en grande quantité. Les Madréporaires, en revanche, sont peu abondants, une des formes les plus répandues étant *Meandrina braziliensis* (Milne Edwards et Haime) que nous trouvons ici pour la première fois à si faible profondeur. Les espèces accompagnatrices sont des Echinodermes : *Encope emarginata* (Leske), *Clypeaster* sp., *Tripneustes ventricosus* (Lmck), l'Ascidie *Ascidia niger* Savigny et des chlorophycées (*Neomeris* et *Halimeda*). Il est assez difficile de classer ce curieux peuplement. *Neospongodes* sp. qui couvre plus de 60 % de la surface n'a été observé par nous en aucun point de la côte brésilienne, l'abondance des Gorgonaires évoquerait un peuplement de passe à courants assez forts et abondance de matières en suspension; quant aux Echinodermes, les deux Clypeastroides sont généralement rencontrés à faibles profondeurs dans les lagons bien éclairés et chauds.

— Au Sud de la pointe Toque Toque : le fond rocheux passe par gradins successifs de la surface à une profondeur de 6 à 7 mètres : Alcyonaires et Gorgones disparaissent complètement et *Millepora alcicornis, Montastrea cavernosa, Mussismilia braziliensis* et *Siderastrea stellata* forment des têtes et des bourrelets coralliens atteignant un mètre de diamètre. Entre ces derniers se développent des espèces de plus faible taille : *Meandrina braziliensis* (forme fixée), *Millepora nitida* (abondant et très distinct morphologiquement de *M. alcicornis*), *Porites branneri, Favia gravida, Mussismilia hispida* ssp. *hispida, Mussismilia harttii* et aussi *Stephanocoenia michelini* (Milne Edwards et Haime) dont c'est la première signalisation sur l'ensemble des côtes brésiliennes. Très souvent les colonies de grande taille sont mortes et couvertes par un petit Zoanthaire colonial.

— Il est vraisemblable que le large soubassement rocheux qui s'étend en avant de l'Ilha da Maré et qui apparaît nettement sur les photographies aériennes est couvert de Madréporaires de même que les hauts-fonds portés sur les cartes marines entre cette dernière île et Ilha do Frade. Nous avons pu examiner les matériaux dragués entre 10 et 20 mètres de fond devant São Tomé do Paripe par la Cimenterie d'Aratù : ce sont des boues coralliennes titrant parfois plus de 90 % de calcaire et contenant, en plus de très nombreuses coquilles mortes, une grande abondance de colonies de Madréporaires de toutes tailles :

Montastrea cavernosa (dans la proportion de 80 % à peu près), *Siderastrea stellata* et *Mussismilia braziliensis* avec de très nombreux fragments de *Mussismilia harttii* et quelques *M. hispida hispida;* se rencontrent aussi des colonies sphéroïdales de *Stephanocoenia michelini,* quelques *Meandrina braziliensis* et de très rares *Scolymia wellsi;* nous avons eu l'impression qu'une grande partie de ce matériel est en fait subfossile, quelques colonies de *Montastrea* et de *Siderastrea* ayant été seules récoltées vivantes. Il est vraisemblable que le peuplement corallien de la Baie de Tous les Saints est actuellement beaucoup moins florissant qu'à une époque récente : l'absence dans le matériel dragué de *Favia leptophylla* Verrill est intéressante, en effet cette espèce synonyme de *Orbicella aperta* Verrill, est commune dans la région des Abrolhos, or Rathbun (1878) la signale comme très abondante à Itaparica et dans la Baie de Tous les Saints; il semble qu'il y ait eu confusion de la part de cet auteur entre cette espèce et *Montastrea cavernosa.*

Enfin il existe dans certains endroits abrités de la Baie (chenal d'Itaparica) des peuplements denses de *Meandrina braziliensis,* libres, à très faible profondeur (récoltes de M. Kempf).

Sous-chapitre 3. — *L'Ile d'Itaparica*

La plus étendue de toutes les îles de la Baie, elle s'étend sur une trentaine de kilomètres suivant une direction Nord-Est - Sud-Ouest. Sur la moitié de cette distance, sa côte orientale est bordée, de la pointe Jaburù au Sud de la pointe Penha (carte *fig.* 42), par un récif corallien qui a fait l'objet d'une description détaillée de Rathbun (1876, 1879). Nous avons pu effectuer une coupe complète de ce récif qui nous est apparu comme mort, aussi bien sur sa pente externe que sur le tombant interne. La masse du récif qui a été exploité pour la fabrication de la chaux, ce qui a sans doute contribué à sa dégradation, est formée par *Montastrea cavernosa* L. et *Mussismilia braziliensis,* ces deux espèces se trouvant vivantes en quelques points du récif. De beaux témoins d' « algal ridge » érodés et de *Mussismilia* sur la partie externe du platier en font un endroit de choix pour l'étude des variations de niveaux récentes (*fig.* 43).

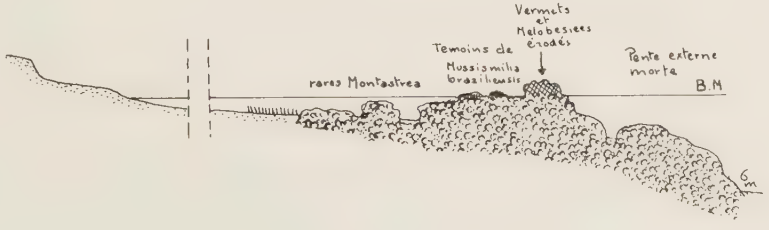


Figure 43. — Coupe du récif corallien mort d'Itaparica, à la hauteur du village de Mar grande, entre les pointes Jaburù, et Penha.

Il semble que le récif se soit développé sur la partie de l'île abritée des Vents d'Est et de Nord-Est par la pointe São Antonio. Il repose apparemment sur des fondations sédimentaires analogues à celles de la pointe Toque Toque, très développées. A la pointe de Penha et à la pointe Jaburù ces couches ont un assez fort pendage vers l'extérieur et on les voit passer sous le récif. Rathbun qui a étudié l'extrémité méridionale du récif pense que sa disparition est liée à celle des couches crétacées gréseuses qui lui servent de soubassement, mais il est possible que les coraux se soient développés sur un banc de grès.

Sous-chapitre 4. — *D'Itaparica à la Pointe de la Baleine*

Cette côte est mal connue. Tout au plus les principaux récifs sont-ils approximativement cartographiés.

Au Sud d'Iparica les cartes françaises signalent deux formations émergeantes à Cajuhyba et Morro São Paulo, toutes deux inexplorées, puis entre l'Ile de Boipeba et la Baie de Camamù s'étend une région de bancs coralliens immergés qui n'a plus été visitée depuis le passage en 1818 de Von Spix et Martius. La petite ville de Camamù est cependant assez accessible mais le temps nous a malheureusement toujours manqué pour nous y rendre. D'après les cartes et la description des anciens auteurs il ne semble pas qu'il y ait de récifs avec des platiers émergés mais plutôt une grande quantité de pinacles, vraisemblablement de structure analogue à celle que nous étudierons dans la région des Abrolhos (*fig.* 44).

Plus au Sud nous avons pu effectuer une plongée au large du port de Ilheus grâce à la gentillesse de Monsieur le Capitaine du Port.

— Ilots en face du Port d'Ilheus (Ileuzinho) les conditions ne sont a priori pas très favorables puisque l'estuaire du Rio Cachoeira est proche, on observe cependant une croissance corallienne intense dès la profondeur de deux mètres avec constitution d'un banc atteignant quatre à six mètres d'épaisseur dans la passe entre les deux îlots. La proportion de colonies vivantes est élevée et la taille atteinte par chaque espèce déjà considérable : les principaux constructeurs sont *Siderastrea stellata* (80 % du volume total dans la partie la plus superficielle et la plus proche de l'îlot) puis *Mussismilia braziliensis*, prépondérant dans la passe avec *Mussismilia hispida hispida* (exceptionnellement abondant) ; *Montastrea cavernosa* ne se trouve guère que le long des tombants; quant à *Mussismilia harttii* bien que ses débris soient nombreux dans le sédiment on n'en trouve que peu de colonies vivantes. A part ces quelques

SALVADOR
Itaparica
Morro São Paulo
I. Boipeba
Camamú
R. das Contas
L. Itahype
Ilhéus
Olivença
Canavieiras
Belmonte
Banc Royal Charlotte
13°
14°
15°
16°
39°
38°

Fig. 44

espèces la faune corallienne est réduite : les Millepores sont mal représentés, il n'y a ni *Meandrina* ni *Scolymia*, seulement quelques *Porites branneri*. Il est vraisemblable que de tels bancs, basés sur des affleurements rocheux et relativement épais sont fréquents entre l'embouchure du Rio das Contas et la région d'Olivença.

— Au Sud de Olivença et jusqu'à la Baie de Santa Cruz s'étendent des plaines littorales basses constituées par la juxtaposition d'innombrables crêtes de plage selon une disposition connue, par exemple, de la côte de Floride (région du Cap Canaveral). Les fleuves qui s'y jettent voient leurs estuaires longuement déviés par des flèches sableuses, de direction variable mais généralement Nord-Sud. Il ne semble pas qu'il existe de récifs coralliens, tout au moins au large.

A partir de Belmonte, la plate-forme continentale s'élargit brusquement sous forme d'un banc de plusieurs dizaines de milles de large (Banc Royal Charlotte). C'est le début du grand élargissement des Abrolhos (*fig.* 45).

— Les Baies de Santa Cruz et de Port Seguro. — Entre 16°,13′ et 16°,28′ de latitude Sud une belle série de récifs gréseux et coralliens rompt la monotonie d'un rivage bas et sableux. Deux baies se succèdent, curieusement semblables et rappelant, par les formations qui s'y observent, les « ensembles » des côtes du Nordeste. Notre étude de cette région n'a pu être menée à bien, le mauvais temps nous ayant maintenus au rivage durant tout notre séjour. Heureusement Hartt puis Branner nous ont laissé d'excellentes descriptions de ces deux localités que nous avons pu survoler et photographier à plusieurs reprises. La carte française (n° 2 039) étant inexacte, c'est la carte brésilienne (n° 1 205 au 1/30 000e), excellente, qui nous a servi de base de travail.

On observe du Nord au Sud (*fig.* 46) :

a) Le récif corallien de Coroa alta, derrière lequel s'est édifiée la pointe sableuse de Santo Antonio. Arrondi et assez ensablé, il repose, d'après les cartes, sur des profondeurs comprises entre 15 et 20 mètres. Il porte une caye sableuse (Coroa alta) un peu plus au Nord. D'après Hartt un récif mort à *Mussismilia braziliensis*, s'observe au Nord de Coroa alta, couvert par les sables dans une petite baie, près de l'embouchure du Rio Santo Antonio.

b) Au fond de la baie de Santa Cruz, le Rio João de Tiba débouche derrière une ligne de grés émergeants qui dévie son embouchure vers le Nord. C'est un arrecife semblable à ceux de la région de Recife et comme ceux-ci formé de trois lignes parallèles dont la plus interne est la plus haute et la plus large; on y reconnaît la structure et les niveaux de l'arrecife de Pina-Boa Viagem (La troisième ligne, qui n'émerge pas et a'apparaît qu'en vision aérienne, n'avait pas été signalée par les anciens auteurs). Une île, couverte de palétuviers, s'accroche

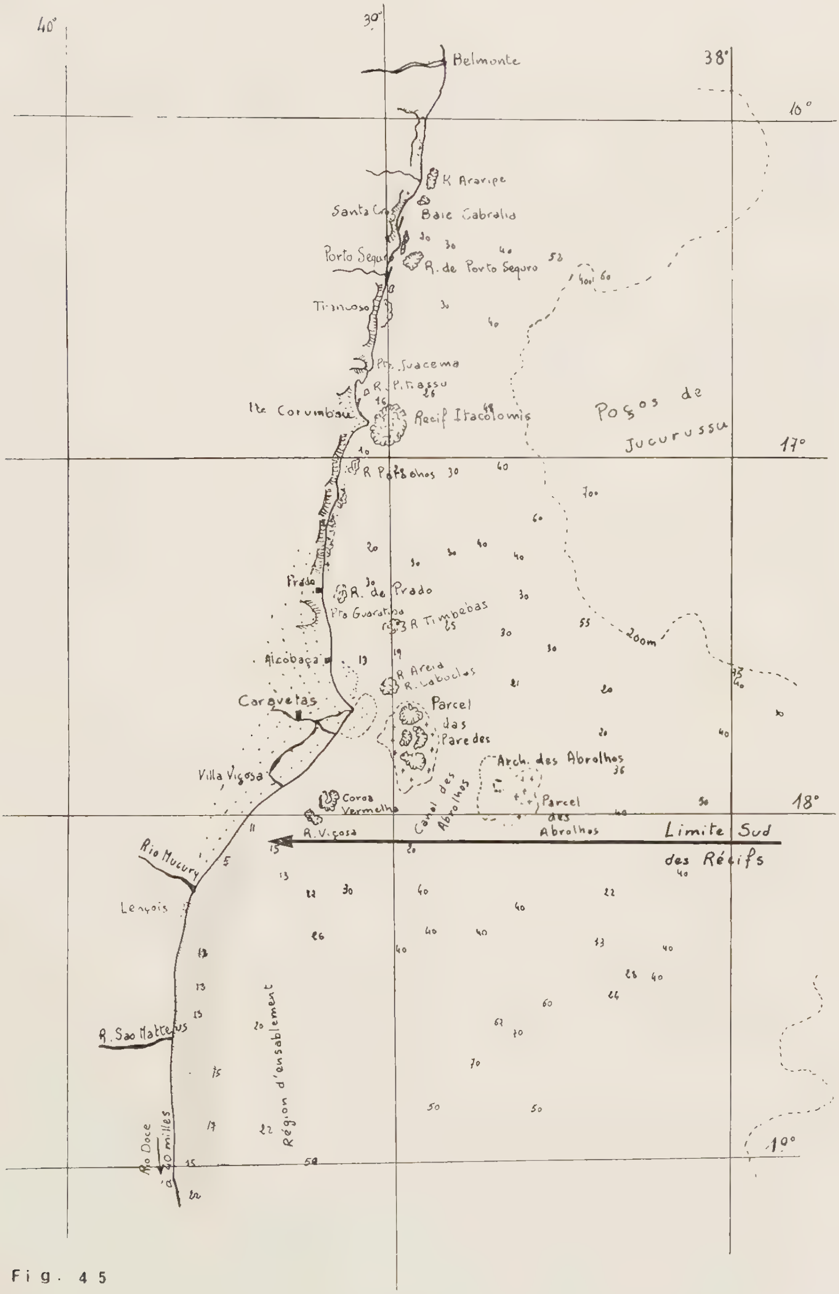

Belmonte
Baie Cabralia
Porto Seguro
R. de Porto Seguro
Recif Itacolomis
Poços de Jucurussu
R. de Prado
R Timbebas
Alcobaça
Caravelas
Parcel das Paredes
Arch. des Abrolhos
Parcel des Abrolhos
Villa Viçosa
Coroa Vermelha
R. Viçosa
Canal des Abrolhos
Limite Sud des Récifs
Rio Mucury
R. Sao Matteus
Région d'ensablement
200m

Fig. 45

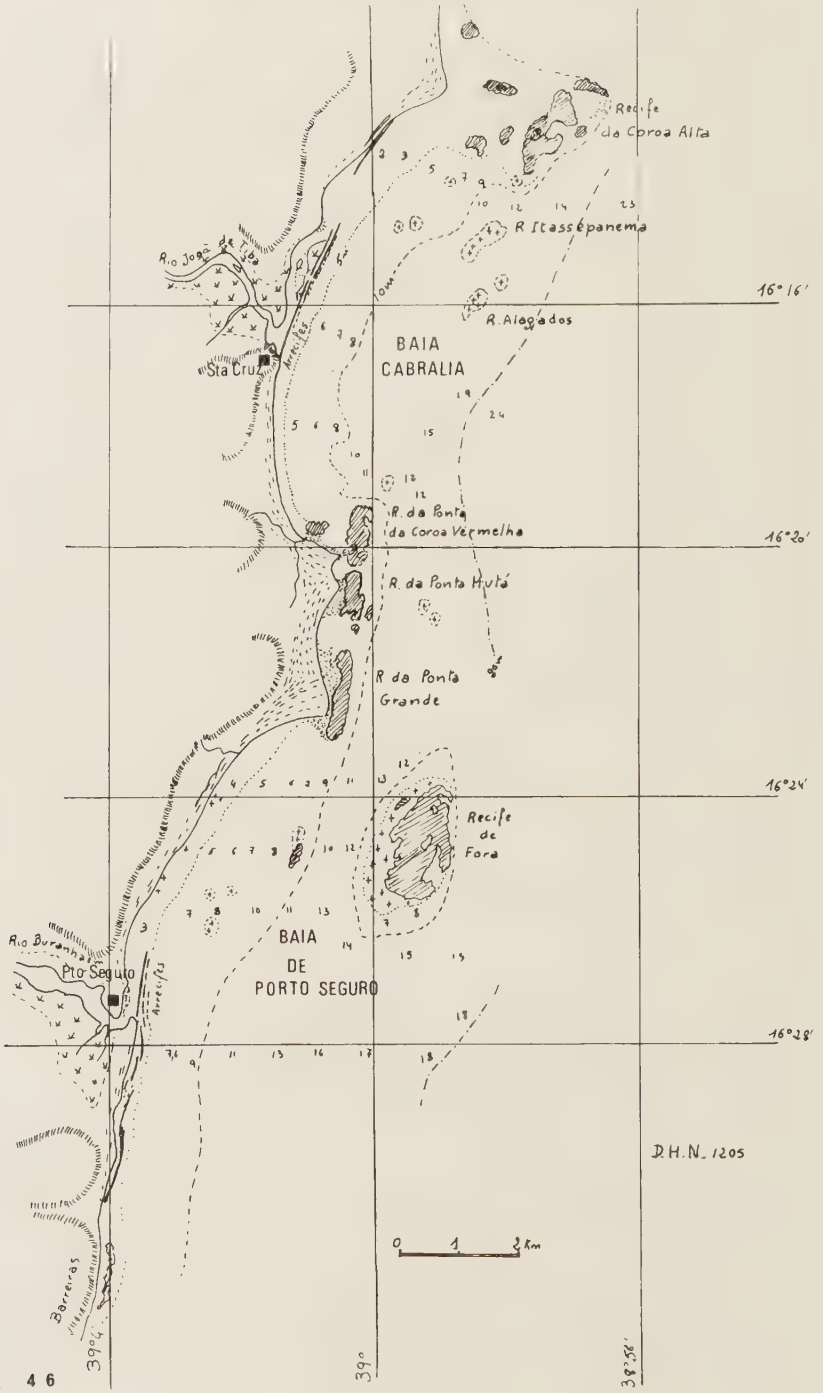

Recife
da Coroa Alta
R. Itassépanema
16°16'
R. Alagados
BAIA
CABRALIA
Sta Cruz
R. da Ponta
da Coroa Vermelha
16°20'
R. da Ponta Hutá
R. da Ponta
Grande
16°24'
Recife
de
Fora
BAIA
DE
PORTO SEGURO
Pto Seguro
16°28'
D.H.N. 1205
0 1 2 Km
Barreiras
39°4'
39°
38°56'

Fig. 46

au bord interne de l'arrecife principal. Au Nord de l'embouchure du rio les grés réapparaissent pour aller se raccorder à la plage.

c) Au Sud de la Baie de Santa Cruz, une longue avancée sableuse s'est constituée à l'abri de trois platiers coralliens rectangulaires, alignés selon une direction Nord-Sud parallèle à celle des arrecifes. Leur longueur totale dépasse 6 kilomètres, les profondeurs sont de 10 mètres sur leur partie frontale et de un à deux mètres seulement dans les deux passes qui les séparent, ainsi que dans le chenal ensablé qui les isole du rivage. Ce sont, du Nord au Sud, les Récifs da Ponta da Coroa Vermelha (portant une caye sableuse), da Ponta Mutà et da Ponta Grande.

d) Un peu plus au Sud et au large, le Recife de Fora, large platier corallien se sépare nettement des précédents tant par sa forme elliptique que par les profondeurs de 12 à 17 mètres qui l'entourent. Une série de platiers plus petits et irrégulièrement disposés, vraisemblablement basés sur de petits affleurements rocheux s'étend entre lui et la côte.

e) Le fond de la Baie de Porto Seguro est, comme celui de la Baie de Santa Cruz, fermé par un récif de grés formé de trois dalles et qui abrite l'estuaire du Rio Buranhaem.

Vers le Sud l'arrecife suit longuement la côte et paraît se raccorder au soubassement des falaises qui font suite à la Baie de Porto Seguro (Barreiras de Porto Seguro).

Interprétation.

La région Santa-Cruz, Porto Seguro montre côte à côte des formations d'origine différente.

1. — Les arrecifes montrent une similitude parfaite avec ceux de la région Nordestine : en particulier, à près de 1 000 kilomètres de distance, le nombre de lignes de grès et leurs niveaux respectifs n'ont pas varié.

2. — Par contre les récifs coralliens appartiennent ici à deux types différents : la ligne de platiers : Ponta da Coroa Vermelha, Ponta Mùta, Ponta Grande, possède toutes les caractéristiques des récifs coralliens du Nordeste, comme eux elle est formée de platiers allongés et rectangulaires, alignés parallèlement à la direction du rivage et extérieurement bordés par des profondeurs de l'ordre de 10 mètres. Il est donc vraisemblable qu'elle s'est développée sur une ligne de grès profonde. Les deux récifs de Coroa alta et de Fora au contraire sont de forme arrondie et basés sur des profondeurs de plus d'une quinzaine de mètres : une telle épaisseur potentielle n'avait jamais été rencontrée jusqu'à présent au cours de cette étude. La presque totalité des formations coralliennes que nous observerons à partir de maintenant seront construites sur ce

modèle; elles se sont vraisemblablement développées sur des affleurements rocheux de la plate-forme.

Du point de vue biologique HARTT, qui visita en 1866 le Récif de Fora, donne comme espèce constructrice essentielle *Mussismilia braziliensis*. L'étude des coraux récoltés par les pêcheurs pour l'industrie de la chaux montre que *Siderastrea stellata* est très abondant, constituant 80 % du matériel récolté. Cette prédominance apparente pourrait, si elle était vérifiée par l'observation sur le terrain, être attribuée à la turbidité sur les petits platiers situés entre le récif de Fora et la côte, où se pratique la collecte des Madréporaires.

Au Sud de Porto Seguro la région de Trancoso montre une série de petits platiers non portés sur les cartes françaises, situés à une très faible distance du littoral; un peu plus au Sud le récif Pitiassu (carte française 2039, Cartouche Mouillage de Joacema) est un petit platier triangulaire sans détails visibles séparé de terre par des fonds de 8 à 9 mètres.

La pointe Corumbau (16°,53′ S, 39°,06′ W) est une langue sableuse triangulaire, étroite et pointue qui se dirige vers l'Est en direction d'une série de platiers coralliens émergeants connue sous le nom de Récif Itacolumis. On remarquera la disposition particulière d'un arrecife de grés (non porté sur les cartes marines) qui sous-tend la pointe Corumbau à sa base et apparaît très nettement sur son flanc Nord.

Les Itacolumis ,inexplorés, sont séparés de terre par une passe avec des fonds de 9 à 10 mètres alors que les sondes indiquent plus de 20 mètres sur leur bord externe. Ils apparaissent à l'observateur aérien sous la forme d'un soubassement corallien large et arrondi parcouru par des chenaux irréguliers.

Enfin de la pointe de Corumbau à la ville de Prado, la côte reprend son aspect élevé en « barreiras », de nombreux petits récifs coralliens paraissent s'être développés sur le soubassement rocheux des falaises.

La plate-forme continentale qui était extrêmement développée vers l'Est depuis la hauteur de Belmonte présente, devant Prado, une inflexion profonde, véritable golfe sous-marin profond d'une trentaine de milles, les « Poços de Jucurussù » puis s'élargit de nouveau pour former le vaste saillant des Abrolhos, de forme complexe, sillonné au Sud par une large vallée sous-marine et prolongée au large et au Sud par toute une série de bancs. C'est cette région que nous allons maintenant étudier.

Sous-chapitre 5. — *La région des Abrolhos*

Carte française 1966 et 1969 (*fig.* 47).

A la hauteur de Prado, la plate-forme continentale qui s'était rapprochée du rivage, s'étend à nouveau vers l'Est sur une largeur de près de 70 kilomètres (distance de l'isobathe 100 mètres). Portée par ce large plateau rectangulaire, la région récifale des Abrolhos s'étend, grosso modo, entre 17°,20′ et 18°,05′ de latitude Sud et entre

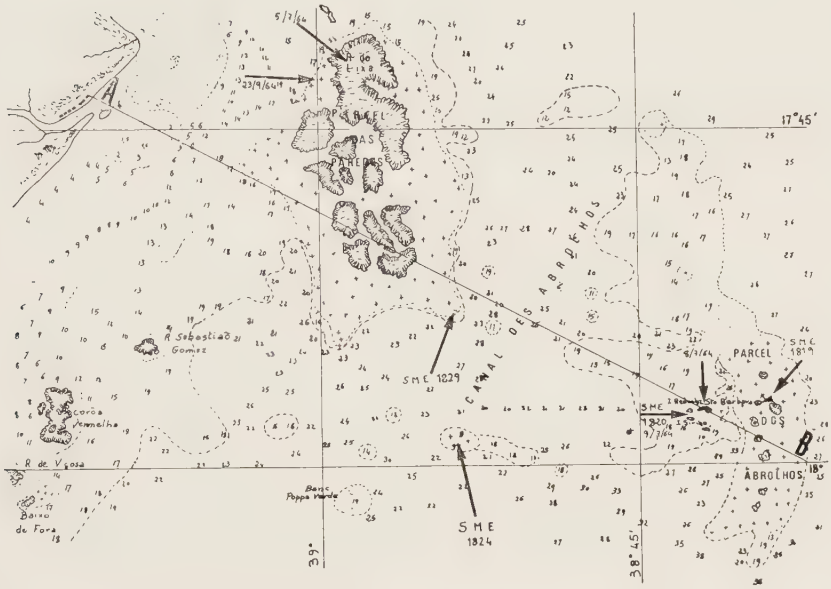


FIGURE 47. — Carte générale de la région des Abrolhos montrant la disposition de récifs. D'après la carte marine française 1966. Les flèches indiquent nos stations.

39°,17′ et 38°,35′ de longitude Ouest, centrée sur l'Archipel des Abrolhos (17°,58′ S, 38°,42′ W).

Le littoral est sableux; des falaises Guaratiba (17°,26′ S, 39°,12′ W) à celles de la Pointe Lençois (18°,20′ S, 39°,37′ W) s'étend une plaine alluviale, profonde de plus de 30 kilomètres, qui s'avance vers le large en formant la Punta de Baleia (17°,41′ S, 38°,08′ W) caractérisée par la juxtaposition d'innombrables crêtes de plage.

Les récifs se disposent sous forme de deux arcs concentriques séparés par le chenal des Abrolhos, large de 7 à 8 milles et profond de 20 à 29 mètres.

— L'arc interne commence au large de Prado par une série de petits récifs côtiers (Prado et Guaratiba) sur des fonds de 8 à 10 m, suivis vers le Sud par le récif Timbebas, déjà plus éloigné de la côte dont il est séparé par des fonds atteignant 20 mètres.

L'élément principal de ce groupe est le Parcel das Paredes : immense platier elliptique émergeant sur presque toute sa surface, long de 20 kilomètres et large de 10; c'est de beaucoup le plus grand de tous les récifs des côtes brésiliennes; des chenaux larges et profonds d'une dizaine de mètres le séparent en plusieurs blocs, le plus septentrional ayant reçu le nom de Recife do Lixa. C'est à l'abri de ce platier que c'est constituée la grande avancée sableuse de Punta da Baleia.

Au Sud, séparés des Paredes par le large et profond Chenal du Sud-Est, l'arc se termine par trois récifs : Sebastião Gomes, Coroa Vermelha (qui porte une caye sableuse insubmersible) et Viçosa.

— L'arc externe, de taille plus réduite comprend essentiellement le Parcel dos Abrolhos qui entoure vers l'Est l'Archipel du même nom. Une série de bancs coralliens très irréguliers et mal connus en double la surface. Enfin un ou deux bancs de moindre importance (Poppa verde, banc de la Station S.M.E. 1824) sont isolés au milieu du Chenal des Abrolhos.

Nous avons pu étudier la région pendant la croisière 1962 de la « Calypso » en effectuant plusieurs plongées sur le Parcel dos Abrolhos (St. 1819), sur un banc de la passe des Abrolhos (St. 1824), la partie externe du Parcel das Paredes (St. 1829), entre les îles Siriba et Redonda (St. 1820). Nous avons pu revenir en compagnie de M. Kempf (juillet 1964) étudier le Parcel das Paredes et le littoral des îles de l'Archipel et enfin une dernière fois en septembre 1964 (Parcel das Paredes). A notre grand regret il ne nous a jamais été possible, faute de moyens, de réétudier avec un matériel approprié le Parcel dos Abrolhos qui est certainement le point le plus intéressant de tout le littoral brésilien. Il est vraisemblable que des études plus poussées feraient apparaître non seulement des espèces encore non signalées mais aussi des détails de structure qui ne nous ont pas frappés lors de notre premier passage à une époque où nous commencions seulement à nous familiariser avec les récifs brésiliens.

Nous donnerons une série de coupes d'Est en Ouest mettant ainsi plus facilement en relief l'appauvrissement progressif des peuplements en fonction de l'augmentation de la turbidité.

— *Le Parcel dos Abrolhos.*

Séparé de l'Archipel par un étroit canal, ce récif se présente sous forme d'un arc large de 5 kilomètres et long d'une vingtaine formé de massifs coralliens atteignant presque la surface, séparés par des chenaux profonds; il n'y a donc pas de véritable platier. Nous n'avons pu vérifier l'existence des parties émergeantes portées sur la carte française (inexacte) car, de toute façon, s'il y a émersion à basse mer en certains points du récif le relief est tellement faible qu'il ne peut être perçu de très près (un survol à marée basse serait indispensable pour une meilleure compréhension de la structure du Parcel dos Abrolhos). Hartt (1870) affirme d'ailleurs qu'aucun endroit du Parcel n'atteint la surface.

Station 1819 : sous ce numéro nous groupons deux plongées; la première sur les massifs coralliens entourant l'épave émergeant au milieu du Parcel dos Abrolhos, la seconde sur un pinacle à mi-chemin entre la première localité et l'île Santa Barbara, donc

au milieu du Chenal; cette seconde station montrant des peuplements légèrement appauvris par rapport à la première ne sera traitée que sommairement. La complication du relief sous-marin dans cette région et le peu de temps qul nous avons pu y consacrer ne nous permettent que de donner une étude synthétique (*fig.* 48).

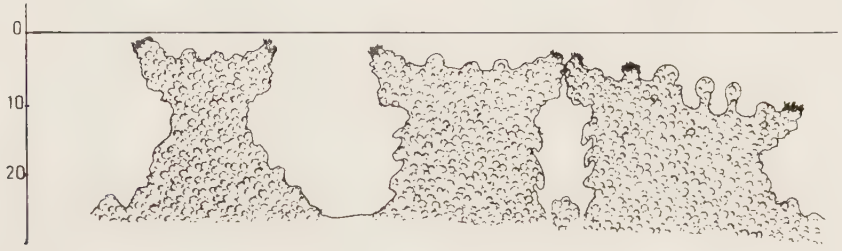


FIGURE 48. — Coupe à travers une série de « chapeirões » du Parcel dos Abrolhos, à divers stades de coalescence. Echelle approximative : la distance entre deux extrémités de la coupe est de l'ordre de 200 m.

L'épave (un cargo de petit tonnage) est coincée, sur un fonds de 15 à 20 mètres entre plusieurs pinacles isolés ou unis par leurs bases. Nous avons cherché à connaître la date du naufrage qui aurait été d'un grand intérêt pour l'estimation de la vitesse de croissance des Madréporaires mais ni le journal de bord du phare des Abrolhos ni les personnalités du Service Hydrographique de la Marine brésilienne n'ont pu nous fournir cette indication : l'état de conservation (en particulier du gréement émergé) permet de donner comme âge approximatif une dizaine d'années : les colonies coralliennes fixées sur les membrures et les barrots du pont avaient les dimensions maximales suivantes :

Mussismilia braziliensis : 10 cm
Siderastrea stellata : 7 cm
Favia gravida : 5 cm
Meandrina braziliensis : 1 à 2 cm

Ceci ne permet pas de donner une estimation, une évolution de plusieurs années étant sans doute nécessaire pour que des larves puissent se fixer avec succès sur un tel substrat.

La coupe d'un pinacle situé à l'Est de l'épave montre la zonation suivante (*fig.* 49) : Une partie supérieure de forme irrégulière, aplatie, à une profondeur moyenne de 5 à 6 mètres porte sur sa périphérie des buissons de *Millepora alcicornis* dont les plus élevés montent jusqu'à un ou deux mètres de la surface, formant un

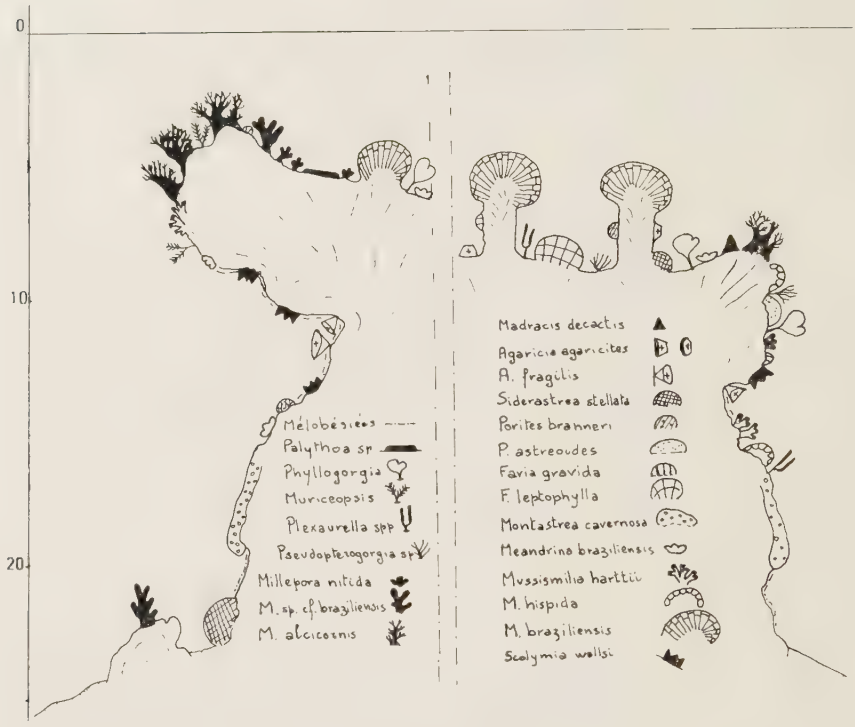


FIGURE 49. — Zonation des principales espèces sur un « chapeirão » du Parcel dos Abrolhos (Station S.M.E. « Calypso », 1819).

encorbellement marqué. Le replat lui-même porte les espèces suivantes :

Mussismilia braziliensis CCC
Favia leptophylla CC
Porites astreoides AC
Porites branneri AC
Siderastrea stellata AC, rôle constructeur effacé
Meandrina braziliensis (forme fixée) AC
Favia gravida AC
Agaricia agaricites AC colonies petites et noduleuses, sans frondes
Mussismilia harttii AR colonies petites, bien caractérisées
Mussismilia hispida hispida AC taille très inférieure à 1 m
Madracis decactis (Lyman) première observation en position photophile AC, grosses colonies

Millepora alcicornis CCC sur la périphérie
Millepora cf *braziliensis* AC
Millepora nitida C colonies de petites tailles
Phyllogorgia dilatata CC
Plexaurella dichotoma C
Plexaurella grandiflora C
Muriceopsis sulphurea C
Pseudopterogorgia sp (= *Gorgonia gracilis* Verrill) CC
Palythoa sp. en grandes plaques

Il s'agit là d'un inventaire limité aux seuls Anthozoaires, la faune d'accompagnement ainsi que la flore n'ont pu être étudiées; la faune macroscopique apparaît d'ailleurs pauvre comme partout ailleurs sur les récifs brésiliens. La couverture corallienne est variable, de l'ordre de 50 %. Mention doit être également faite d'une curieuse forme de croissance de *Mussismilia braziliensis* : il s'agit de piliers verticaux, larges de 30 cm à près de 1 m, hauts de 50 cm à 2 ou 3 m, terminés à leur sommet par une colonie sphérique de *Mussismilia* qui peut atteindre 1 mètre de diamètre; de tels édifices trahissent donc une poussée verticale continue et ininterrompue d'une même colonie se développant par encroûtements successifs suivis d'une nécrose des parties latérales, ce phénomène rappelant un peu les « cornes d'abondance » de *Siderastrea stellata* observées à Itamaraca (Pernambuco). Il aurait été du plus haut intérêt de briser une de ces formations pour dater la partie inférieure, un tel édifice représentant certainement plusieurs centaines d'années de croissance continue. Les piliers de *Mussismilia* sont abondants entre 5 et 10 mètres sur les parties supérieures des « chapeirões »; nous ne les avons pas observés en dehors de la région des Abrolhos.

La présence de *Madracis decactis* à quelques mètres de profondeur sur la partie la plus éclairée du platier a également de quoi surprendre car cette espèce paraît plutôt sciaphile partout ailleurs.

— *Les parois verticales entre 10 et 20 mètres.*

Comme celles de tous les récifs étudiés elles montrent une zonation montrant un passage progressif d'une faune photophile analogue à celle que nous venons de voir à une faune sciaphile qui trouve son maximum de développement sous les surplombs.

La partie supérieure des tombants, là où elle n'est pas surplombante, montre donc, sous la ceinture à *Millepora alcicornis* des peuplements à *Mussismilia braziliensis* et *Favia leptophylla* mais

ces espèces sont relativement peu abondantes alors que *Mussismilia harttii, Mussismilia hispida hispida, Agaricia agaricites* (forme encroûtante) et *Meandrina braziliensis* (forme fixée) dominent. En même temps apparaissent *Scolymia wellsi* et *Montastrea cavernosa*, cette dernière espèce formant les draperies habituelles le long de la face inférieure du tombant jusqu'au sédiment (qui est ici une vase corallienne de couleur crême en surface et bleuâtre en profondeur). Les Algues calcaires sont abondantes; encroûtantes ou branchues, elles doivent jouer un rôle de premier plan dans la consolidation et la conservation des édifices.

— *Les surplombs.*

Sous la bordure de *Millepora* ou à mi-hauteur du chapeirão suivant les endroits, on observe un surplomb profond de 1 à 2 mètres, il s'agit d'une forme de construction et non d'érosion due au développement latéral des espèces photophiles des niveaux supérieurs. La faune est pauvre et le recouvrement animal assez faible; on trouve cependant des plaques de *Montastrea cavernosa*, de nombreux *Scolymia wellsi* et surtout une espèce que nous n'avions pas encore rencontrée sur les récifs : *Agaricia fragilis* (Dana) qui forme des plaques arrondies ou cupuliformes pédicellées. Dans un travail récent (Laborel, 1966) nous avons étudié la biologie de cette espèce et comparé les populations des Abrolhos avec celles des Bermudes. On trouve encore *Astrangia braziliensis*, des Foraminifères, des Zoanthaires, des Hydraires etc...

— Le fond vaseux est situé entre 20 et 25 mètres, le sédiment possède un aspect bosselé en « taupinières » et forme généralement un petit talus au pied du chapeirão, d'où émergent des formations pyramidales peu actives et envasées à base de Millepores. Parfois un Herbier d'Halophiles se développe sur le sédiment.

— Les formations étudiées dans la première localité de la Station 1819 ainsi que dans la Station 1824 sont identiques à celles que nous venons de décrire, en particulier par la présence de *Madracis decactis* en position photophile et de *Agaricia fragilis* sous surplombs; la partie supérieure des chapeirões est toujours comprise entre 2 et 6-8 mètres de profondeur et le fond vaseux entre 20 et 25 mètres; il nous a semblé parfois observer des traces d'érosion, apparemment dans des masses mortes de *Mussismilia*, sur le replat que l'on observe vers 15 mètres au-dessous de la zone des grands surplombs; c'était là un problème intéressant que nous aurions désiré vérifier; une étude statistique de la profondeur des sommets et des surplombs serait également intéressante.

— *Les rivages des Iles de l'Archipel des Abrolhos.*

L'Archipel des Abrolhos est constitué de quatre îles principales et d'un îlot. Du point de vue géologique (HARTT) ces îles sont formées de couches sédimentaires : calcaires gréseux, marnes calcaires et grés recouverts d'une coulée basaltique, l'ensemble de ces couches possède un pendage vers le Nord assez accusé tout au moins sur l'île principale, Santa Barbara (*fig.* 50).

FIGURE 50. — Carte de l'archipel des Albrolhos d'après la carte marine française 1966.

HARRT puis BRANNER ont décrit un « récif frangeant » tout autour des îles de l'Archipel et les cartes marines françaises le mentionnent également : il ne s'agit pas d'une formation corallienne, tout au moins actuelle, mais d'une dalle très rase formée d'Algues calcaires cimentant des Millepores, des Foraminifères, etc... Cette dalle très érodée se termine vers la mer par un petit surplomb.

Ce concrétionnement est absent des rivages Sud et Sud-Est des îles et doit être lié à l'existence d'une large plate-forme d'érosion taillée dans les strates sédimentaires. Il s'agit d'une formation algale, peu épaisse, se développant en mode relativement abrité et sans doute liée à un niveau marin supérieur à l'actuel; la participation des Vermets paraît plus faible que sur les autres édifices de même type étudiés. On note çà et là des Madréporaires (*Mussismilia braziliensis*) inclus dans la masse construite, sans qu'il soit possible de dire s'ils sont en place ou s'ils ont été roulés à la côte (comme c'est actuellement le cas

fréquemment) et ultérieurement inclus dans le concrétionnement. Nous n'avons pas eu le temps matériel de faire le tour de toutes les îles de l'archipel pour voir s'il y avait des formations à Vermets actuelles; cependant les *Dendropoma* vivants sont abondants sur blocs de basalte le long des rivages Nord de Santa Barbara.

Coupe de Santa Barbara, Face Nord (fig. 51)

Le mode est battu, la coupe est située à l'Ouest de l'anse qui sert de mouillage par vents du Sud et qui coupe l'île en deux, communiquant avec une autre anse de la rive Sud par un seuil haut de quelques mètres. Le rivage est constitué d'une dalle inclinée vers la mer et portant des éboulis de gros blocs basaltiques arrondis.

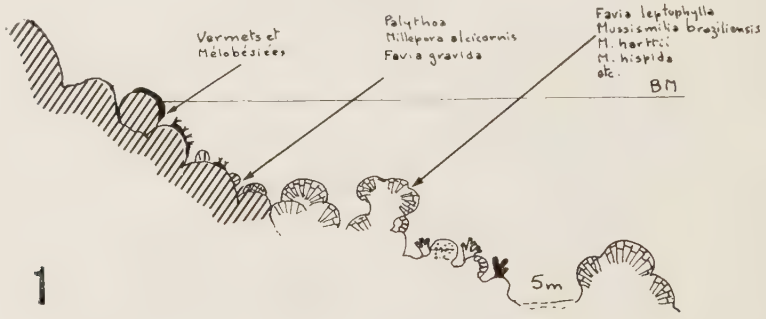


FIGURE 51. — Coupe 1 : Face Nord de l'Ile Santa-Barbara : le mode étant assez fortement battu, les peuplements concrétionnants à *Mussismilia braziliensis* ne commencent qu'à partir de 3 à 4 m de profondeur.

Au-dessous de la ligne des Vermets et des Mélobésiées encroûtantes qui descend à peu près à 1 m au-dessous du niveau des basses mers moyennes, on observe une zone à *Millepora alcicornis* encroûtants « en peinture », avec *Millepora* sp. cf. M. *braziliensis* de faible taille, *Palythoa* sp. et surtout abondance de très beaux *Favia gravida* dans la forme méandroide. Les *Echinometra* sont aussi extrêmement nombreux. Ce peuplement s'étend jusqu'à 3 ou 4 mètres et fait beaucoup penser à ceux que nous avons pu observer dans des conditions analogues à Fernando de Noronha.

Au-dessous commence un concrétionnement corallien à *Mussismilia braziliensis* comportant peu d'espèces accompagnatrices : quelques *Favia leptophylla, Mussismilia hispida hispida, Mussismilia harttii, Siderastrea, Porites astreoides, P. branneri, Agaricia*

agaricites; on n'observe, par contre, ni *Agaricia fragilis*, ni *Scolymia*, *Meandrina* ou *Madracis* : le peuplement est donc limité aux espèces photophiles les plus tolérantes. Cet appauvrissement est dû au mode battu et à l'augmentation de la turbidité.

— *Coupes dans la passe entre les Iles Siribà et Redonda.*

Ces deux îles sont réunies entre elles par une espèce de cordon sableux affleurant à très basse mer, qui coupe la passe en deux; nous avons pu explorer successivement le côté Est et le côté Ouest de cette passe, d'abord pendant la croisière « Calypso » (Station S.M.E. 1820), puis lors de notre passage en 1964.

L'intérêt de cette coupe est de montrer des peuplements de mode abrité à faible profondeur, par opposition au mode battu de la station précédente (*fig.* 52).

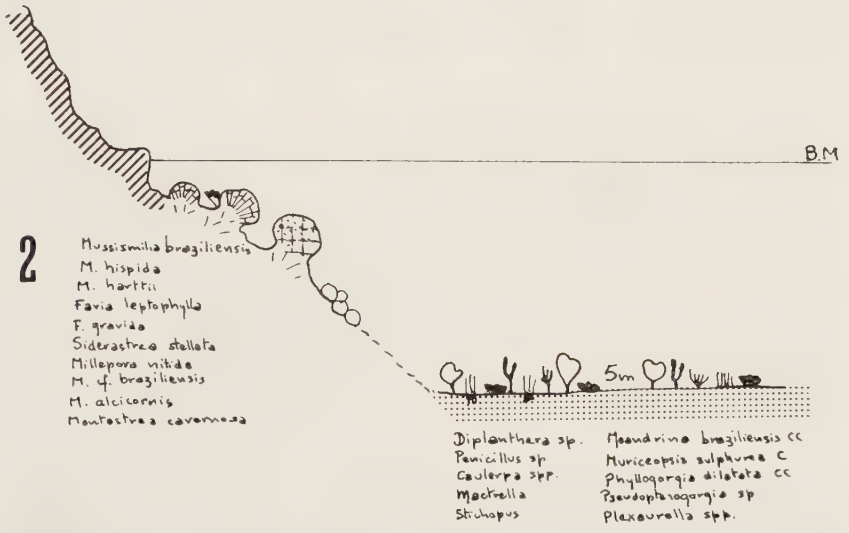


FIGURE 52. — Coupe 2 : Passe entre les Iles Siriba et Redonda : en mode très abrité les espèces constructrices remontent très près de la surface et le fond est recouvert d'une prairie mixte à Gorgones, *Meandrina* et Diplanthères extrêmement riche.

La zonation superficielle est riche et montre de denses peuplements d'Algues molles (*Zonaria*, Caulerpes) en opposition avec les Mélobésiées encroûtantes de Santa Barbara, les peuplements coralliens apparaissent à très faible profondeur avec une zone à Mille-

pores, les trois espèces étant représentées par des colonies de taille et de forme normale, *Millepora* cf. *braziliensis* étant toutefois plus abondant. Les *Favia gravida* sont moins méandroides qu'en mode battu, on retrouve enfin les mêmes espèces qu'à la Station précédente, *Favia leptophylla* et *Mussismilia harttii* étant cependant plus abondants. Au-delà d'une profondeur de deux à trois mètres s'étend un fond sablo-vaseux plat portant un herbier de Diplanthères et caractérisé par une extraordinaire abondance de *Meandrina braziliensis* libres sur le sédiment (la densité au mètre carré est de l'ordre de plusieurs dizaines). Les Gorgones sont également bien représentées avec toutes les espèces déjà signalées; on remarque surtout d'innombrables touffes de cette petite *Pseudopterogorgia*, très fine et de couleur blanchâtre, parfois libre sur le sédiment, qui correspond à la description de *Gorgonia gracilis* Verrill et semble avoir été mise indûment en synonymie avec *Leptogorgia setacea* (Pallas) par Bayer (1961). La faune comprend également un beau *Stichopus*, *Echinaster* sp., *Mactra alata* Spengler, *Vasum* sp., *Divaricella* sp. et de nombreux Spongiaires. La flore est abondante, à base de *Penicillus* sp. et Caulerpes. Ce peuplement paraît

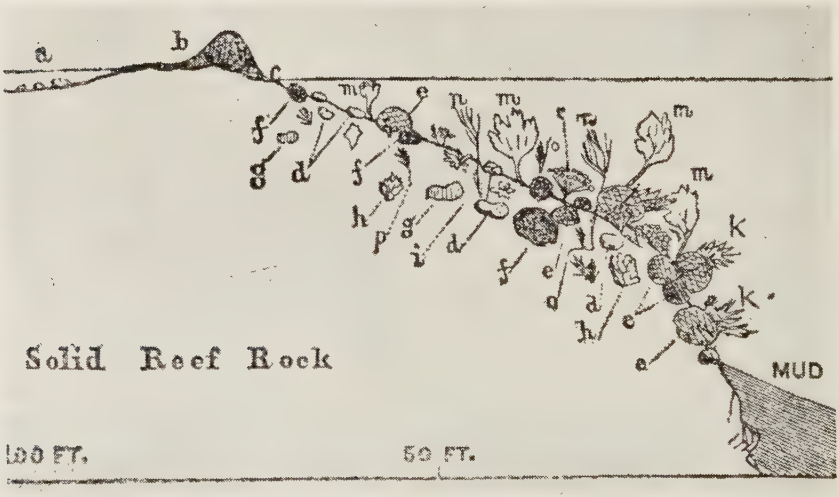


Figure 53. — Fac simile de la coupe du bord externe du récif de Lixa donnée par Hartt (1870). Toutes les espèces sont correctement représentées à leur place (les légendes ne sont pas reproduites). On notera l'existence d'une petite crête algale; à l'endroit étudié la profondeur n'atteint que quelques mètres et l'envasement est fort; il ne s'agit donc vraisemblablement pas du véritable bord externe du Parcel dos Paredes mais plutôt de celui d'un paté corallien secondaire entouré de chenaux peu profonds.

caractériser les fonds qui s'étendent entre les principales îles de l'Archipel de 3 à 18 mètres de fonds. Un dragage de la « Calypso » près du mouillage indiqué par les cartes marines a ramené une quantité considérable de *Meandrina*; cette espèce, sous sa forme libre aussi bien que sous sa forme fixée, apparaît donc comme prodigieusement abondante dans la région des Abrolhos alors que HARTT, qui ne pouvait évidemment connaître son véritable biotope, la considérait comme rare.

— *Le Parcel das Paredes.*

Cet immense récif, d'une superficie de 200 kilomètres carres émerge à basse mer sur la plus grande partie de sa surface, contrairement au Parcel dos Abrolhos. Sa partie la plus orientale cependant possède une structure en chapeirões isolés qui se soudent peu à peu en se rapprochant de la surface. La station Calypso S.M.E. 1829 nous a permis de voir ce type particulier de structure : le plongeur évolue dans un véritable labyrinthe de chenaux, profonds de près de 20 mètres, dont les parois se rejoignent parfois en tunnels. La faune est identique à celle du Parcel das Paredes avec abondance de *Madracis decactis* et, sous les surplombs, *Agaricia fragilis* et *Scolymia wellsi*. La plongée n'ayant pas été effectuée à marée basse nous n'avons pu voir la limite externe du platier émergeant. D'après HARTT, qui a donné de cette zone un remarquable croquis, sans doute la première coupe bionomique jamais donnée du front d'un récif de corail il existerait une petite crête algale (*fig.* 53).

La partie le mieux connue, car la plus facilement accessible à partir du petit port de Caravelas, est le Récif do Lixa (coupe (*fig.* 54).

FIGURE 54. — Coupe de la partie postérieure du récif de Lixa. La figure de HARTT pourrait correspondre à l'extrémité droite de la figure. On note, en arrière du récif la présence de pinacles très bien développés mais à peuplements appauvris à cause de la turbidité. Le peuplement des herbiers récifaux est comparable à celui de la passe de Siriba; le mode est calme, l'immense platier émergeant du Pacel dos Paredes constituant un abri efficace.

Bord interne : un platier ras et uniforme, très bas (à peine un mètre au-dessus des plus basses mers) s'étend à perte de vue sans le moindre accident, ce qui avait beaucoup frappé Hartt et Branner; à peine remarque-t-on quelques flaques peu profondes et, de loin en loin, des canaux. Ce platier est physionomiquement très différent de ceux des récifs du Nordeste : on n'observe pas de témoins coralliens érodés, mais au contraire la surface morte n'est pas visible, cachée par une épaisseur indéterminée de Mélobésiées, encroûtantes ou libres, mêlées à un sable organogène grossier. Un tapis algal à *Jania* et *Amphiroa* dominantes estompe tout relief, les *Palythoa* sont rares et de petite taille; quant aux peuplements des flaques ils sont du type le plus commun, à *Siderastrea* et *Favia*.

La marée montante recouvre en quelques minutes ce platier extrêmement bas et abrité.

En arrière on passe sans ressaut à une pente légère qui aboutit entre un et deux mètres à de vastes étendues submergées, couvertes d'un sable vaseux corallien et portant de denses herbiers de Diplanthères. Le peuplement de ces herbiers est caractérisé comme dans la passe de Siribà par des Chlorophycées (*Udotea, Penicillus* et *Halimeda*), les Mollusques *Vasum muricatum* Borg et *Pinctada radiata* Leach et surtout par une grande quantité de *Meandrina braziliensis* libres auxquels s'ajoutent *Mussismilia harttii* en petits bouquets laches, parfois posés simplement sur le sol, et *Favia gravida* (forme *gravida*).

De tels peuplements s'observent à différentes profondeurs, occupant les replats là où la sédimentation est suffisante.

Sur les ressauts et sur le bord des canaux du platier principal l'élément dominant est *Mussismilia braziliensis* en masses arrondies avec *Siderastrea stellata, Millepora alcicornis,* M. *nitida, Meandrina braziliensis* (forme fixée), *Stephanocœnia michelini, Plexaurella* spp., *Phyllogorgia dilatata*; la couverture totale est supérieure à 50 %. Localement les Millepores forment des couronnes élevées dont l'intérieur est légèrement déprimé en « micro-atoll ».

Enfin, tout à fait en arrière du platier qui se termine par un tombant subvertical de plusieurs mètres se trouve une zone de pinacles que nous décrirons rapidement.

Nous donnons la coupe et le peuplement d'un pinacle (Chapeirão) d'une quinzaine de mètres de diamètre, s'élevant sur des fonds de 9 à 10 mètres.

La partie supérieure est plate, déprimée au centre et porte des formations massives de *Favia leptophylla* et *Mussismilia braziliensis* et les espèces compagnes habituelles, Madréporaires et Gorgones.

On notera l'absence de *Meandrina braziliensis* et de *Madracis decactis* due vraisemblablement, comme la rareté relative de *Phyllogorgia*, à la turbidité; nous sommes en effet au bord de la passe qui sépare le Parcel das Paredes de la terre.

Tout autour du sommet du pinacle, constituant une couronne en fort relief, poussent de vigoureux *Millepora alcicornis* qui tendent à accroître latéralement la surface du Chapeirão.

Les parties latérales sont surplombantes, peu peuplées, sauf par un gazon de *Telesto riisei*, quelques petits *Scolymia wellsi* et des encroûtements verdâtres d'Algues filamenteuses. Des draperies de *Montastrea cavernosa* terminent le tombant, aboutissant à un fond de vase molle.

— En conclusion, le groupe récifal des Abrolhos frappe par les points suivants.

Tout d'abord sa surface considérable (près de 200 kilomètres carrés pour le seul Parcel das Paredes) et l'épaisseur des formations partout de l'ordre de 20 mètres au moins (*fig.* 55).

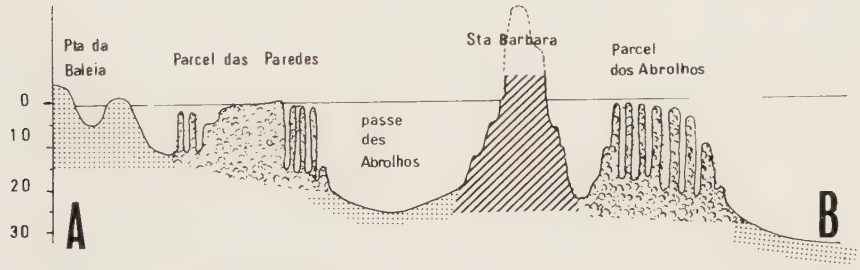


FIGURE 55. — Coupe schématique de cette même région, réalisée d'après les sondages de la carte précédent le long du profil A B. On notera l'épaisseur des formations coralliennes, presque partout supérieure à 20 m. L'épaisseur réelle en est inconnue.

Ensuite la grande vigueur de l'architecture corallienne : platiers massifs percés de chenaux profonds, prolifération extrême des pinacles qui arrivent à confluer et se souder entre eux.

Du point de vue biologique c'est incontestablement un point de richesse extrême toutes les espèces rencontrées sur les côtes brésiliennes (à l'exception de *Mussismilia hispida tenuisepta*, sous-espèce géographique de *Mussismilia hispida* au Nord du São Francisco, remplacée ici par *Mussismilia hispida hispida*) y sont rassemblées et y forment des peuplements plus denses que partout ailleurs; l'abondance des individus va ici de pair avec celle des espèces.

Deux espèces : *Agaricia fragilis* et *Madracis decactis* se trouvent sur le récif (Parcel dos Abrolhos et partie externe du Parcel das Paredes) alors qu'elles sont limitées partout ailleurs à la zone subrécifale (*Madracis decactis* se retrouve cependant à faible profondeur dans la région d'Ilha Grande et le Canal de São Sebastião, mais sous des surplombs alors qu'il est ici photophile).

Depuis le bord oriental du Parcel dos Abrolhos jusqu'au bord interne du Parcel das Paredes s'observe une disparition graduelle d'espèces, correspondant vraisemblablement à une augmentation de la turbidité : il est très intéressant de noter que les espèces les plus sensibles sont, dans l'ordre, *Agaricia fragilis, Madracis decactis, Scolymia wellsi* et *Meandrina braziliensis*; or ce sont justement ces quatre espèces qui constitueront des peuplements profonds au Nord du São Francisco sans jamais apparaître sur les récifs qui sont tous, comme nous l'avons vu, près de la côte et soumis à une forte turbidité.

Sous-chapitre 6. — *La région des estuaires* :

Mucury, São Mateus, Rio Doce

Au Sud de la latitude de 18°,04′ S qui marque le bord méridional du récif de Viçosa il n'existe sur les côtes brésiliennes plus aucun récif corallien. Les raisons de cet état de choses sont encore imparfaitement connues mais elles sont vraisemblablement d'ordre d'abord topographique : la plate-forme continentale qui s'était dilatée pour porter l'Archipel et le récif des Abrolhos se rétrécit au Sud de Viçosa; des bancs isolés s'observent, loin au large de la côte (Bancs Jaseur, Banc Vitoria, etc...) jusqu'à la latitude de Vitoria. Cependant ce rétrécissement n'est que relatif et la plate-forme est plus large que sur les côtes du Nordeste. Peut-être les affleurements rocheux sur lesquels auraient pu s'édifier des constructions coralliennes manquent-ils?

Du point de vue de l'hydrologie il faut tout d'abord remarquer que trois fleuves débouchent dans l'Océan à faible distance les uns des autres : ce sont du Nord au Sud le Rio Mucury (le moins important des trois) puis le São Mateus et enfin le Rio Doce qui est déjà un cours d'eau assez considérable. Il est vraisemblable que ces trois cours d'eau, par leurs apports sédimentaires sont à même de constituer une véritable barrière comparable à celle que nous avons déjà observée devant le Rio São Francisco. A cela s'ajoutent vraisemblablement des influences froides encore mal connues. Nous essaierons de clarifier cette question pour autant que cela soit possible dans l'état actuel de nos connaissances dans un chapitre ultérieur.

CHAPITRE VI

APPAUVRISSEMENT ET DISPARITION DES PEUPLEMENTS CORALLIENS

La côte de l'Etat d'Espiritù Santo, basse et sableuse jusqu'à l'embouchure du Rio Doce devient peu à peu accidentée, les contreforts du Plateau Atlantique arrivant au contact de la côte. Nous avons pu au cours de deux séjours successifs (1964 et 1967) étudier la région, du Nord de Vitoria à Guarapary, soit sur une cinquantaine de kilomètres. Le seul naturaliste à avoir récolté des Madréporaires dans cette région était jusqu'à présent Hartt.

Au Nord de Vitoria, entre Nova Almeida et Carapebus, des formations latéritiques s'étendent au large de la côte et doivent constituer une base favorable à partir de quelques mètres de profondeur. Nous n'avons pu, faute d'embarcation, en visiter que la partie la plus superficielle, constatant ainsi la présence de peuplements assez abondants d'*Agaricia agaricites;* nous n'avons pas retrouvé cette espèce plus au Sud.

— *Coupe de Punta do Tubarão.*

Lors de notre première visite nous avions observé un riche peuplement entre 1 et 5 mètres de profondeur. En mode assez battu on observait, sur des dalles latéritiques les espèces suivantes :

Millepora alcicornis forme encroûtante AR
Millepora cf *braziliensis* R
Favia gravida C
Siderastrea stellata C mais de petite taille
Porites branneri C

Les cinq espèces de Gorgones étaient abondantes. On notait donc essentiellement l'absence de Mussidae, de *Montastrea* (station trop superficielle?) de *Meandrina* etc... à un peu plus d'une centaine de milles des Abrolhos et à une distance à peu près égale au Nord de Cabo Frio, on constate donc déjà une disparition de près des deux tiers de la faune corallienne hermatypique.

— *Baie de Vitoria.*

Les Madéporaires sont encore plus rares mais les Gorgones sont extraordinairement abondantes (*Phyllogorgia* en particulier) formant des prairies déjà signalées par Hartt. Cependant des quantités considérables de Madréporaires morts, d'espèces actuellement introuvables dans la région s'observent dans la baie de Vitoria : Hartt signalait, sur la plage de Villa Velha des amoncellements de débris de *Mussimilia harttii, Agaricia agaricites, Meandrina braziliensis,* utilisés par les habitants pour la fabrication de la chaux; cette localité est aujourd'hui entièrement dépourvue de coraux, même morts, cependant, au fond de la Baie, en milieu actuellement très fortement dessalé, on continue l'exploitation artisanale de bancs de sable vaseux noirs et réduits à Madréporaires. Dans l'île dite da Caiera (du four à chaux) nous avons pu voir des amoncellements contenant *Mussismilia harttii, Meandrina, Favia gravida* etc... Nous en avons prélevé un échantillonnage en vue de le faire dater par ^{14}C les datations (Gif 1065) indiquent un âge de 5.520 ± 150 ans. L'aire de répartition de certaines espèces aurait donc subi récemment un rétrécissement important.

— *Tres Ilhas.*

Au Sud de Vitoria et un peu au Nord de la ville de Guarapary les cartes montrent à plusieurs milles au large, donc bien dégagés des eaux littorales turbides, trois îlots rocheux désignés sous le nom de Tres Ilhas. Ces écueils entourés de hauts-fonds paraissant particulièrement propices à la vie corallienne nous les avons visités, trouvant un peuplement identique à celui de Punta do Tubarão avec de très denses prairies de *Phyllogorgia, Muriceopsis, Plexaurella* et *Pseudopterogorgia,* des Millepores (*M. alcicornis* et *M.* cf. *braziliensis*), *Siderastrea, Favia gravida, Porites branneri, Oreaster reticulatus, Palythoa* sp et plusieurs espèces de *Zoanthus.* Au retour, dans une passe nous avons observé l'Actinie *Stoichactis helianthus,* autre espèce nettement tropicale.

Toute la région qui va de Victoria à Guarapary est donc caractérisée par une très grande abondance des Gorgones et une faune corallienne déjà réduite sans aucun *Mussidae* vivant (Hartt signalait de Guarapary *Acanthastrea,* c'est-à-dire *Mussismilia braziliensis;* cela semble improbable, cette espèce paraissant strictement inféodée aux côtes de l'Etat de Bahia, toutefois une colonie morte et roulée se trouve au C.E.Z. de la Faculté de Philosophie de Rio de Janeiro

étiquetée Espiritù Santo). Comme il s'agit d'une espèce à squelette très léger cet échantillon pourrait avoir été transporté là par flottage (KORNICKER et SQUIRES, 1962).

— *La côte entre Vitoria et Cabo Frio.*

Au Sud de Guarapary les montagnes s'éloignent de la côte et il apparaît une nouvelle plaine sédimentaire formée par la juxtaposition de crêtes de plage et correspondant au delta du Rio Parahyba do Sul; cette rivière joue certainement un rôle dans la raréfaction des espèces. Le Cap São Tomé, sédimentaire, ne porte aucun peuplement corallien.

— *Les « Oasis coralliennes » de Cabo Frio.*

La réfigion de Cabo Frio marque un changement brutal d'orientation du littoral qui prend une direction Est-Ouest jusqu'à l'ouverture de la Baie de Guanabara. Plusieurs accidents rocheux se présentent du Nord au Sud : ce sont le Cap Buzios et la Baie du même nom, puis après une longue plage la pointe rocheuse portant le village de Cabo Frio avec au large plusieurs îles rocheuses dont l'Ilha dos Papagaios que nous étudierons. Enfin la pointe méridionale constituant le véritable Cabo Frio avec l'Ile et le phare du même nom et le petit port de pêcheurs d'Arraial do Cabo au fond d'une Baie assez grande et très fermée. Nous avions remarqué lors de notre premier passage qu'une faune corallienne appauvrie s'observait sur le flanc Sud de l'île Papagaios. On remarquait surtout la disparition de presque tous les Gorgonaires sauf *Phyllogorgia* alors que, sous les surplombs, se rencontrait une autre espèce *Lophogorgia* sp. cf. L. *punicea* (MILNE EDWARDS et HAIME) ; les Madréporaires étaient rares, représentés seulement par quelques grosses colonies de *Mussismilia hispida hispida* et quelques *Porites branneri*; enfin *Millepora alcicornis* était présent sous la forme encroûtante.

La Baie d'Arraial do Cabo nous réservait une surprise; en effet à droite du Port et après la petite plage do Forno nous avons rencontré entre 2 et 7-8 mètres de profondeur un peuplement corallien très dense avec *Palythoa* sp. *Mussismilia hispida hispida*, *Siderastrea stellata* formant même localement un début de concrétionnement, *Porites branneri*, *Phyllogorgia dilatata* C et *Millepora alcicornis* encroûtant. Or, ce peuplement corallien disparaît brusquement en quelques centaines de mètres dès que l'on sort de la baie : en dortant par la passe Nord la seule espèce qui persiste est *Millepora*; par la passe Sud entre la terre et l'Ile de Cabo Frio, les peuplements changent complètement de nature, les espèces tro-

picales disparaissent, on note sous les surplombs d'assez nombreuses *Lophogorgia* et des quantités importantes de l'Echinide subtropical *Paracentrotus gaymardi* (Blainville).

On observe donc dans la région de Cabo Frio des peuplements tropicaux littéralement confinés à l'intérieur de certaines baies (carte *fig.* 56 et 57), certaines espèces disparaissant instantanément

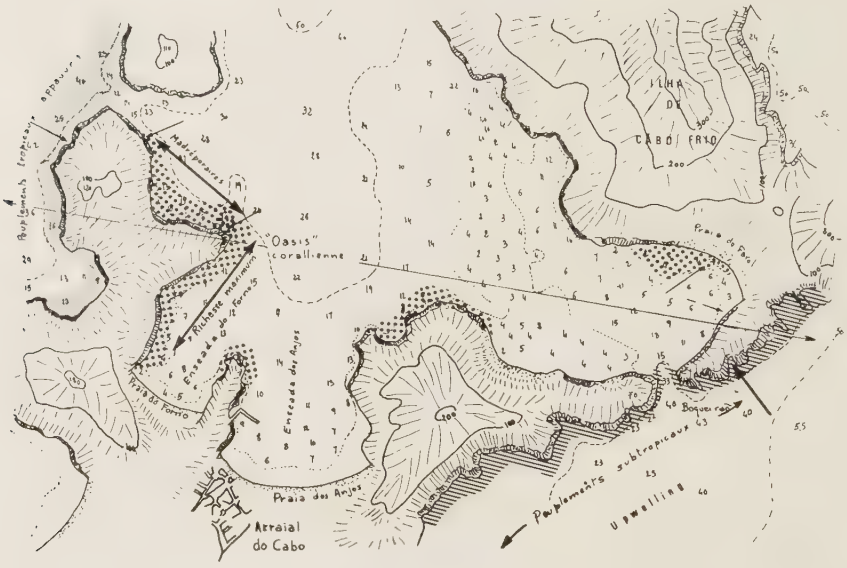


Figure 56. — Cabo Frio - Baie d'Arraial do Cabo.

lorsque l'on sort de ces endroits privilégiés. Quant à la côte Sud du Cap elle porte des peuplements subtropicaux sans Madréporaires qui se continuent sans interruption le long des rivages des Iles rocheuses jusqu'à la Baie de Guanabara. Ce phénomène d'«oasis corallienne » est dû certainement à des causes hydrologiques : un travail récent d'Emillson (1960) établit en effet l'existence d'un upwelling dû à la prépondérance des vents de Nord-Ouest pendant la plupart de l'année sur un littoral orienté Est-Ouest. Il est intéressant de remarquer à quel point ce phénomène entraine des changements brutaux dans la composition faunistique des peuplements côtiers.

— *La disparition des coraux au Sud de Cabo Frio.*

a) La Baie de Guanabara. — Hartt signale que Louis Agassiz aurait récolté dans cette baie un *Porites*, cela semble curieux car

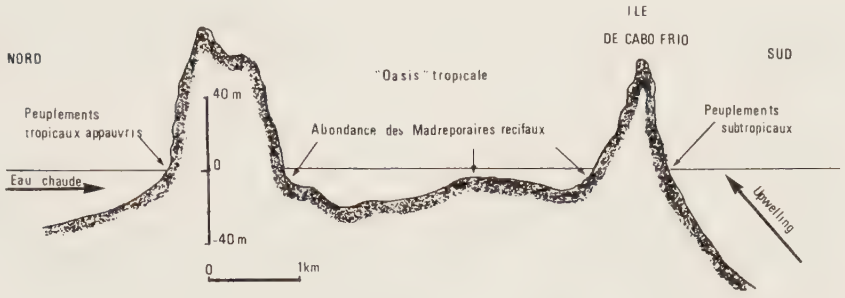


FIGURE 57. — Coupe schématique à travers l' « oasis corallienne » de la baie d'Arraial do Cabo, Cabo Frio (Rio de Janeiro). Les eaux froides remontées par upwelling le long de la face méridionale du Cap contournent celui-ci et déterminent également un appauvrissement de la faune tropicale sur la côte Nord, cependant, les eaux de la baie peu profonde sont moins fréquemment renouvellées et sont réchauffées par radiation solaire, permettant le dévelopement d'une faune tropicale relativement riche.

cette Baie est en grande partie sous l'influence des eaux froides remontées des profondeurs par l'upwelling dont nous venons de parler. On y trouvait cependant une espèce d'eau chaude *Phyllangia americana* qui n'es pas a proprement parler hermatypique et surtout *Astrangia rathbuni* VAUGHAN espèce typiquement subtropicale. Actuellement la pollution de la Baie est considérable, quelques *Astrangia* ont été encore observés récemment à Urca au pied du Pain de Source par l'équipe du C. E. Z.

b) La Baie d'Angra dos Reis. — Il s'agit là encore d'une espèce d'Oasis mais qui ne présente pas des limites tranchées brutalement comme à Cabo Frio; il n'y a en effet plus d'upwelling au large, la côte ayant retrouvé sa direction originelle N. E. - S. W. et les eaux (bien étudiées par les océanographes brésiliens) sont chaudes, résultant du mélange des eaux du courant du Brésil et d'eaux subtropicales méridionales. Dans la Baie d'Angra dos Reis la température de surface atteignait localement 30° le jour de notre passage (en décembre), elle n'était cependant plus que de 26° à trois mètres seulement de profondeur et également de 26° mais en surface cette fois à la sortie de la Baie (Cap Sud d'Ilha Grande). Il ne faut donc pas s'étonner si dans ces conditions des peuplements denses se développent :

On ne trouve cependant que deux espèces : *Mussismilia hispida hispida* et, chose curieuse et difficilement explicable *Madracis decactis* que nous n'avions trouvé à si faible profondeur en aucun point depuis les Abrolhos. *Phyllogorgia, Porites* et Millepores ont complè-

tement disparu; la faune comprend encore *Palythoa, Encope emarginata, Oreaster reticulatus* et *Clypeaster, Ascidia niger,* et deux Gorgonaires : *Leptogorgia* cf. *setacea* (Pallas) et *Lophogorgia* cf. *punicea* (Milne Edwards et Haime).

c) Ubatuba et São Sebastião. — Nous avons visité ces localités à bord de la Calypso (Plongées S.M.E. n° 1794 et 1798 dans la région d'Ubatuba et 1784 dans le Chenal de São Sebastião). Le peuplement précédent se continue en s'appauvrissant graduellement en Madréporaires; on observe par contre de nouvelles espèces de Gorgones: *Lophogorgia* sp., *Ellisella* cf. *barbadensis* (Duchassaing et Michelotti).

La différence de température entre les eaux de surface et quelques mètres de profondeur tend à s'accentuer et les *Mussismilia,* d'ailleurs souvent fortement modifiés (voir partie systématique) se localisent entre 1 et 3 mètres de profondeur, *Madracis* sans doute plus tolérant s'observant surtout dans la couche froide (*fig.* 57).

d) Ile de Santo Amaro. — Au Nord de Santos : nous n'avons plus observé dans cette station aucun Madréporaire (ni d'ailleurs

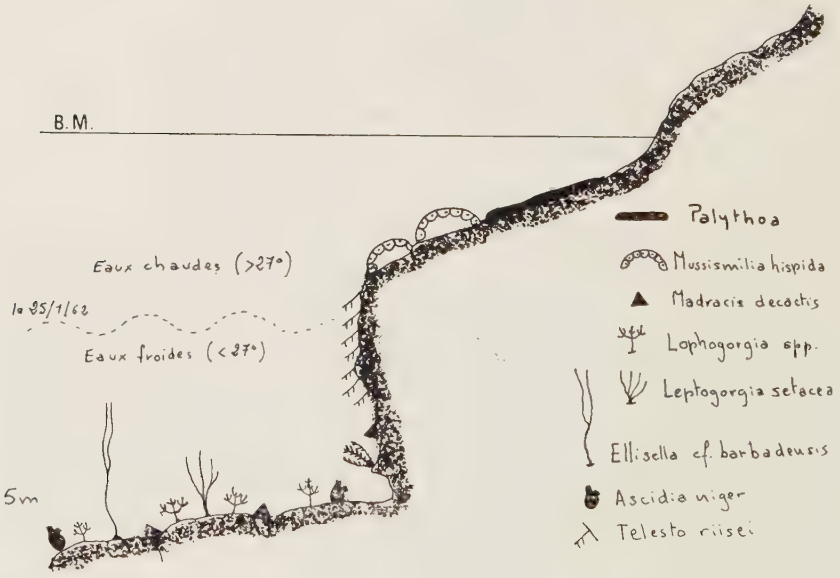


Figure 58. — Coupe bionomique de la Station S.M.E. « Calypso » 1784 sur la rive occidentale du Canal de São Sebastião. Noter que *Mussismilia hispida hispida* se localise dans les eaux très superficielles; la température accuse une chute de plusieurs degrés entre 2 et 3 mètres de profondeur.

de Gorgonaires). Les éléments tropicaux étaient essentiellement *Palythoa* sp., *Echinometra* et un Crinoide, *Tropiometra* sp. que l'on trouvait également à Cabo Frio, Ilha Grande et São Sebastião.

Agassiz (*in* Hartt) signalait que des coraux ont été récoltés beaucoup plus au Sud, dans l'Etat de Santa Catarina : la chose n'est pas impossible car les eaux qui baignent les côtes de cet Etat sont, par le jeu des courants marins, plus chaudes et plus salines que celles de la région de Santos. Gliesch (1925) dans sa faune de la région de Torres cite sans les déterminer des Gorgones, *Renilla* sp, *Encope emarginata, Mellita quinquiesperforata* et le Madréporaire subtropical *Astrangia rathbuni* (détermination douteuse d'après la photographie).

Il est cependant à peu près certain que les quelques Madréporaires rencontrés dans la région de São Sebastião ne sont pas loin de leur limite d'aire et il semble raisonnable de donner la latitude de Santos (24°,03′ S) comme limite de la région corallienne brésilienne, tout au moins en ce qui concerne les peuplements superficiels.

C) REPARTITION DES MADREPORAIRES SUR LA PLATE-FORME CONTINENTALE

Tout au long de la partie descriptive on a pu remarquer que, du fait de la situation des récifs très en retrait par rapport à la bordure externe de la plate-forme, on ne trouve en aucun endroit des profondeurs de plus de 25 m. au pied des récifs. Or, dans toute la région étudiée les fonds compris entre 20 et 100 m s'étendent sur des surfaces considérables formant une bande continue large de 10 à 40 milles. La température (au Nord de Cabo Frio tout au moins) n'y est jamais inférieure à 24° au niveau du fond et les eaux, dégagées des influences littorales, y sont toujours claires. La vie corallienne y est donc à priori possible même si elle n'aboutit pas à l'édification de récifs.

Nos connaissances de cette plate-forme brésilienne, nulles il y a quelques années, ont fait depuis peu des progrès certains grâce aux dragages effectués au cours des deux missions successives de la « Calypso » (Novembre 1961-Février 1962) donnant une vue d'ensemble des peuplements compris entre 10 m et 1 700 m en profondeur et ceci depuis la latitude du Rio Grande do Sul jusqu'à celle de Rocas (Forest, 1966).

Ces recherches ont été poursuivies dans la région du Nordeste par deux importantes campagnes de dragages entreprises conjointement par la Sudèpe et l'Institut Océanographique de l'Université de Recife. Ces dragages fourniront à M. Kempf la matière d'un

important travail; nous nous bornerons ici à utiliser les résultats qui ont trait aux Madréporaires récoltés que M. Kempf a bien voulu nous faire parvenir. Nous avons pu également, tant à Recife qu'à bord de la « Calypso », effectuer un certain nombre de plongées profondes qui nous ont permis de nous faire une idée de la physionomie de ces peuplements jusqu'à une soixantaine de mètres de profondeur.

Nous étudierons la faune corallienne subrécifale, ainsi que nous l'avons fait pour les peuplements récifaux, région par région en allant du Nord vers le Sud.

a) Les côtes du Ceara au Cap Sao Roque.

Cette région, qui n'avait pu être étudiée par la « Calypso », a été récemment prospectée par le chalutier « Canopus » opérant pour le compte de la Sudepe; sur une centaine de dragages, une vingtaine ont montré d'abondants peuplements coralliens, toujours éloignés du littoral, à des profondeurs comprises entre 30 et 80 mètres; certaines de ces stations, sur des bancs situés très au large de la côte, sont particulièrement intéressantes car elles sont les plus septentrionales de toute cette étude.

Les stations 16 et 17 du « Canopus » (01°35′ S; 38°07′ W) ainsi que 13, 14, 15 (01°30′ S; 38°48′ W) et 18, 19, 22 (01°56′ S; 37°51′ W) montrent ainsi un groupe de trois bancs, d'une profondeur de 50 mètres en moyenne et séparés de terre par des profondeurs considérables (plusieurs milliers de mètres). D'après les observations de M. Kempf ces bancs portent une couverture de blocs d'Algues calcaires avec les espèces suivantes :

Millepora alcicornis L.

Millepora sp. cf. *braziliensis* Verrill

Siderastrea stellata Verrill

Porites branneri Rathbun

Mussismilia harttii (Verrill)

Montastrea cavernosa (L.)

Madracis decactis (Lyman)

Madracis scotiae Gardiner

Madracis asperula M. Edwards et Haime

Scolymia wellsi Laborel

Agaricia fragilis (Dana)

Il est curieux de noter la richesse de la faune corallienne si on la compare aux très pauvres peuplements récifaux du littoral (Chapitre 1) et le mélange entre des espèces très photophiles (Millépores, *Siderastrea* et *Porites*), moyennement sciaphiles (*Montastrea*) et sciaphiles (les *Madracis* rameux en particulier n'ont été observés sur aucun récif).

Sur la plate-forme continentale elle-même, une série de stations (CAN 1 à 5) nous renseigne sur la faune de la partie la plus occidentale des côtes du Ceará, aux frontières du Maranhão, donc tout à fait à la limite de la zone considérée par nous au long de cette étude. Outre des Madréporaires solitaires en cours d'étude (*Caryophyllia* sp cf *maculata* Pourtalès, *Balanophyllia* sp., *Paracyathus* sp.) on note la présence de :

Meandrina braziliensis

Agaricia fragilis

Madracis scotiae

à des profondeurs comprises entre 50 et 70 mètres sur fonds d'Algues calcaires. Devant Fortaleza (CAN 12 et CAN 57 et 59) M. Kempf a récolté par 45 m *Stephanocoenia michelini* associé aux espèces précédentes avec, en plus, *Madracis decactis* et *Mussismilia hispida* (formes profondes).

En conclusion l'appauvrissement de la faune corallienne le long des côtes du Ceará est un phénomène purement littoral et superficiel, une douzaine d'espèces de Madréporaires et de Millépores (sans compter les formes solitaires ahermatypiques) formant un peuplement abondant à partir d'une profondeur d'une trentaine de mètres et d'une certaine distance au large.

b) La région du Cap Sao Roque.

Une douzaine de stations du « Canopus » montrent que la faune corallienne de la plate-forme est analogue à celle des côtes du Ceará et de la région des arrécifes située plus au Sud; la région du Cap São Roque perd donc en profondeur le rôle de zone frontière à faune appauvrie que l'étude des récifs tend à lui donner.

c) Les Iles Océaniques.

Aux dragages du « Canopus » s'ajoutent ceux de la « Calypso » montrant une complète identité avec les régions que nous venons d'étudier. Mieux encore le dragage n° 117 du Canopus a été effectué sur un haut fond (05°49′ S et 34°45′ W prof. 55-75 m) qui

avec celui de la station CAN 74 (03°58′ S et 33°56′ W, prof. 54 m) constitue une série de pitons rocheux alignés avec Fernando de Noronha et Rocas, véritable chaine de relais faunistiques entre ces îles et la côte brésilienne.

d) La côte du Nordeste.

C'est actuellement la mieux connue par suite des nombreux dragages effectués. Nous donnerons une coupe type de la plate-forme en nous basant à la fois sur nos observations et sur les dragages de M. Kempf.

— *Au pied des récifs,* entre 15 et 20 m on peut avoir un peuplement dense de Spongiaires et de Mélobésiées donnant occasionnellement naissance à un concrétionnement; les Madréporaires sont rares, on ne trouve guère que *Siderastrea stellata* et des Gorgones : *Plexaurella* sp. et *Muriceopsis sulphurea*; les Algues sont abondantes, en particulier les Caulerpes et *Halimeda* ainsi que les Phéophycées. Plus au large on passe à des sables à *Sphenotrochus* alternant avec des passées de sédiment à articles d'*Halimeda* (à faune pauvre) ou des sables vaseux à *Halophila* (ces herbiers atteignant couramment une profondeur de 30 m).

— *Entre 30 et 40 m* on observe de grandes étendues d'un type de fond particulier qui n'est pas sans rappeler le « maërl » des régions tempérées : le sédiment est formé de thalles branchus d'Algues calcaires libres. Les Echinodermes sont nombreux : tout d'abord *Diadema antillarum,* pratiquement absent des récifs côtiers, se trouve là en grande abondance, formant de véritables « troupes » de forme triangulaire qui voisinent, sans se mélanger, avec des populations denses de *Lytechinus variegatus,* disposées par paquets pouvant contenir plusieurs dizaines d'individus accolés (et généralement « camouflés » par des thalles d'Algues calcaires); la grande Astérie *Oreaster reticulatus* est commune; un très bel Echinide : *Astropyga* sp. (det. M. Kempf) a été observé circulant sur le fond avec une vélocité surprenante. De nombreux Mollusques : *Strombus gallus L., Fasciolaria* sp. *Spondylus* sp., *Lyropecten nodosus L., Macrocallista maculata* L. ainsi que des Spongiaires se trouvent en abondance. Mais ce qui est le plus surprenant c'est la quantité considérable de *Meandrina braziliensis,* libres sur le fond, qui s'oppose à l'absence totale de cette espèce dans les faciès récifaux et superficiels de cette région. Ici le nombre d'individus au mètre carré approche des valeurs observées aux Abrolhos, dans la passe de Siriba par exemple.

— *Des affleurements rocheux,* dalles aplaties dont il nous a été impossible de déterminer la nature à cause de la couche de concrétionnement algal qui les recouvre, servent de support à des formes profondes de *Mussismilia,* proches de *M. hispida* dont la place systématique est encore incertaine : ces formes, sont caractérisées par le très grand diamètre des calices, les dents septales plus fortes que chez *Mussismilia hispida tenuisepta* et une coloration sur le vivant extrêmement variée et différente de celle des autres *Mussismilia.*

— *Plus profondément, entre* 40 et 70 m le dragages montrent l'assemblage faunistique déjà observé, associé à des fonds de blocs d'Algues calcaires avec : *Agaricia fragilis, Madracis decactis, M. asperula, M. scotiae, Stephanocoenia michelini, Porites branneri, Scolymia wellsi, Siderastrea stellata, Montastrea cavernosa*; seules les quatre dernières espèces se trouvant sur les récifs.

— *La rupture de pente* sur le rebord externe de la plate-forme amène un changement de physionomie et de faune très marqué; prédominent alors les fonds détritiques ou vaseux sur lesquels apparaissent pour la première fois des espèces bathyales : *Deltocyathus italicus* Milne Edwards et Haime, *Fungiacyathus symmetricus* Moseley, *Stenocyathus* sp. cf. *vermiformis* Pourtalès (Akaroa 05, 9°01′ S, 34°51′ W, 370 m). Nous manquons de renseignements sur les peuplements coralliens plus profonds, ils sont très vraisemblablement analogues à ceux que nous verrons plus au Sud; déjà dans le dragage précédemment cité se trouvent des fragments morts et corrodés de *Solenosmilia variabilis* Duncan. Dans cette région le Challenger a récolté *Ceratotrochus diadema* Moseley et *Deltocyathus italicus* (St. 120 devant le Cap Santo Agostinho, 675 brasses). Les éléments les plus sciaphiles de l'assemblage précédent : *Madracis scotiae, Stylaster duchassaingi* se trouvent, clairsemés, jusqu'à près de 500 m.

e) La région du Sao Francisco.

Les récents dragages de l' « Akaroa » montrent bien l'effet de la proximité de l'embouchure du grand fleuve sur les peuplements coralliens. La région de l'estuaire a en effet été prospectée par M. Kempf ainsi que les côtes de Sergipe et d'Alagoas voisines (une centaine de dragages).

Entre les latitudes de 10° et 11° Sud on observe la répartition suivante :

— Les peuplements coralliens de la plate-forme apparaissent normaux presque jusqu'à la hauteur de l'estuaire, c'est-à-dire que l'on trouve des Madréporaires (vivants ou morts) dans 12 dragages sur 16, échelonnés entre 11 m et 110 m. Devant l'embouchure elle-même s'observe une large vasière, qui s'étend loin au large et dans laquelle paraît s'ouvrir la tête d'un canyon (M. Kempf comm. pers.).

— Sur la rupture de pente les dragages AK 181, 183, 184, 185, 186 et 190 montrent sur le rebord du canyon la faune suivante : *Paracyathus* sp., *Deltocyathus italicus, Madracis scotiae, Porites branneri,* soit un mélange d'espèces photophiles, sciaphiles et ahermatypiques.

— La même faune se retrouve un peu plus au Nord (St. 101, 102, 103), entre 90 et 110 m et aussi au Sud de l'estuaire, en face d'Aracajù (St. 131, 132, 139), entre 70 et 140 m. Nous manquons de renseignements sur la plate-forme entre Aracajù et Salvador; il semble cependant que l'embouchure du São Francisco perturbe les peuplements coralliens de la plate-forme jusqu'à une profondeur de près de 70 m et ceci depuis l'estuaire jusqu'à la hauteur d'Aracajù au moins.

f) Région Bahia Abrolhos.

Nos documents se réduisent pour cette région aux dragages de la « Calypso » dont une douzaine ont fourni des Madréporaires; là encore on retrouve le même type de fonds : fonds meubles à *Meandrina braziliensis,* fonds durs à Mélobésiées et *Agaricia fragilis, Madracis,* etc... La Station S.M.E. 1830 dans les « Poços de Jucurussu », cette indentation du plateau continental qui forme une vallée profonde au large de Belmonte, fournit enfin une espèce encore inconnue des côtes brésiliennes : *Madracis pharensis* (Heller) (S. M. E. 1830, 17°16′5″ W, profondeur 100-130 m).

Une région particulièrement intéressante est celle des bancs situés au large de la côte entre les Abrolhos et Cabo Frio; alors que des influences froides se font déjà sentir au rivage, où la faune corallienne est en forte diminution; ces bancs sont baignés par la veine principale du courant du Brésil (Emilsson, 1960) et portent des peuplements typiquement tropicaux.

Nous avons eu la chance de pouvoir effectuer plusieurs plongées sur ces bancs au cours de la croisière 1962 de la « Calypso » et d'observer en place des fonds d'Algues calcaires aux alentours de 60 m. (Plongée S.M.E. 1803, Banc Vitoria, 20°44′6″ S, 37°52′0″ W, prof. 57 m et Plongée S.M.E. 1806, Banc Jaseur, 20°19′4″ S,

36°12′5″ W, prof. 65 m). Dans les deux cas l'aspect du fond était identique : plat, avec çà et là de petits pinacles de concrétionnement hauts et larges de moins de un mètre. Les blocs de Mélobésiées couvraient pratiquement toute la surface, leur taille allant de la grosseur du poing à une cinquantaine de centimètres de diamètre; la faune était particulièrement riche en Spongiaires et en Bryozoaires, un dense gazon de Phéophycées couvrant les blocs; les Madréporaires sur cette partie encore assez superficielle du banc se limitaient à quelques grandes colonies aplaties de *Montastrea cavernosa, Siderastrea stellata*; ajoutons aussi une Gorgone, vraisemblablement une espèce nouvelle du genre *Eunicea* (comm. orale F. H. Bayer) et quelques *Millepora alcicornis*; nous n'avons cependant pas pu effectuer une prospection détaillée du fait des circonstances de la plongée (remorquage sur pendeur) qui laissaient très peu de latitude pour récolter. Un dragage voisin de la plongée S.M.E. 1803, le S.M.E. 1805 b, par fond de 80 m a récolté *Madracis scotiae* et *M. asperula,* espèces qui, peu visibles, ont pu échapper à notre prospection. Le grand Gastéropode *Strombus goliath* est également commun sur ce type de fonds.

g) La plate-forme au Sud de Cabo Frio.

Le changement de faune est, cette fois, beaucoup plus net; alors que toute la plate-forme portait entre le Ceará et Cabo Frio des peuplements de Madréporaires à dominance d'espèces hermatypiques, au Sud de Cabo Frio cette faune ainsi que les fonds d'Algues calcaires qui la suppportaient disparaît subitement. En particulier les fonds de sable à *Meandrina* sont remplacés dans les mêmes limites bathymétriques par des fonds sablo vaseux à *Astrangia rathbuni* Vaughan, espèce endémique, caractéristique de la région brésilienne subtropicale; on observe également des fonds sableux à *Sphenotrochus auritus* Pourtalès. Plus au large, vers 100 m, les dragages de la « Calypso » et ceux de l'Institut Océanographique de São Paulo (dont les Madréporaires m'ont été fort aimablement communiqués par Monsieur le Professeur Tommasi) montrent des fonds détritiques sablo-saseux à *Cladocora patriarca* Pourtalès, *Dasmosmilia lymani* (Duncan), *Trochocyathus* sp., ainsi que des *Primnoidae* et *Chrysogorgiidae.* Plus profondément, entre 200 et 500 m, *Fungiacyathus symmetricus* (Moseley), *Deltocyathus italicus* Milne Edwards et Haime et *Enallopsammia amphelioides* (Alcock) apparaissent. Certaines espèces sont identiques (ou voisines) à celles récoltées à la même profondeur sur les côtes de Floride (*Dasmosmilia lymani, Deltocyathus*); *Fungiacyathus* est un élément cosmopolite.

h) Généralités sur les bancs coralliens profonds.

Aucune série de dragages n'ayant été jusqu'à présent effectuée systématiquement au pied du talus continental sur les côtes brésiliennes, la faune profonde ne nous est connue que de façon fragmentaire. Une série de stations de la « Calypso » au large de São Sebastião a rencontré un de ces bancs vers 1000 m. (St. S.M.E. 1776, 24°54′4″ S, 44°26′0″ W, 1000 m) avec : *Lophelia prolifera* (Pallas), *Enallopsammia rostrata* (Pourtalès), *Solenosmilia variabilis* (Duncan), *Desmophyllum* sp. cf. *crista galli* Milne Edwards et Haime, *Caryophyllia* sp. Cette faune est remplacée à la hauteur du Rio de la Plata (St. « Challenger » 320, 1100 m, 37°17′ S, 53°52′ W et St. Museum 171 de la « Calypso », 37°27′3″ S, 54°55′5″ W, 740 m) par *Cyathoceras cornu* Moseley, *Flabellum curvatum* Moseley, *Bathelia candida* Moseley, etc... qui marquent le passage à la faune patagonienne.

En résumé

— Le peuplement corallien de la partie moyenne de la plate-forme continentale (entre 30 et 70 m à peu près) est beaucoup plus homogène que celui des récifs; il est en effet constant des côtes du Ceará à la hauteur de Cabo Frio et comprend (à l'exception de quelques espèces photophiles strictes) la totalité des Madréporaires et Hydrocoralliaires connus sur les côtes brésiliennes, pour la plupart morphosés et à pouvoir constructeur réduit ou nul.

— L'appauvrissement des peuplements récifaux du Sud vers le Nord, mis en évidence dans les chapitres précédants est donc un phénomène purement superficiel.

Les grands fleuves (São Francisco), paraissent, par leurs apports sableux et vaseux perturber la répartition des peuplements coralliens jusqu'au bord de la plate-forme.

— On note, vers 80-90 m un changement complet de la faune corallienne, remplacée par une faune profonde formée d'espèces à large répartition.

— Au Sud de Cabo Frio, en même temps que disparaissent peu à peu les peuplements coralliens superficiels, les Madréporaires tropicaux disparaissent de la plate-forme continentale, remplacés par une faune spéciale, plus pauvre à *Astrangia rathbuni*.

— Les Madréporaires profonds (talus et rebord de la plate-forme) sont du type caraïbe et paraissent se continuer sans changements notables jusqu'à la région du Rio de la Plata où ils sont remplacés par des espèces antarctiques.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE SYNTHETIQUE

Chapitre 1. — Problèmes faunistiques et zoogéographiques.

Chapitre 2. — Problèmes écologiques et bionomiques.

Chapitre 3. - Edification et évolution des formations coralliennes.

Chapitre 4. — Variations récentes du niveau marin.

Chapitre 5. — Essai de reconstitution chronologique des phénomènes récifaux récents.

CHAPITRE I

PROBLEMES FAUNISTIQUES ET ZOOGEOGRAPHIQUES

Sous-chapitre 1. *Individualité de la faune corallienne récifale des côtes brésiliennes*

Les côtes du Brésil, de la frontière septentrionale jusqu'à la latitude de Cabo Frio font partie de ce qu'Ekman (1950) nomme « région d'eaux chaudes de l'Atlantique américain » (America's atlantic warm water region), la faune marine brésilienne étant, d'après cet auteur, dérivée par appauvrissement de la faune caraïbe. Malgré le peu d'études d'ensemble conduites dans cette région il semble que l'affirmation des zoogéographes soit exacte, en particulier pour les Echinodermes et les Mollusques.

Cependant la faune d'Anthozoaires récifaux constitue, par le fort endémisme de ses constituants une exception, sur laquelle Verrill (1868, 1902, 1912) puis Deichmann (1936) et Bayer (1961) ont insisté à plusieurs reprises.

A l'heure où nous écrivons ces lignes il est malheureusement encore impossible d'étudier l'endémisme chez les Zoanthaires et les Actiniaires, encore insuffisamment connus malgré les travaux récents de D. Diniz Correia, (1964) les Gorgones et les Madréporaires du rebord du plateau continental et du talus sont encore en cours d'étude.

Cependant on peut d'ores et déjà avancer les faits suivants :

— La proportion d'endémiques (Madréporaires, Gorgonaires et Hydrocoralliaires) est élevée surtout dans les faunes récifales (espèces rencontrées sur le récif et sous les surplombs à faible profondeur) et subrécifales (fonds à Mélobésiées comparables au coralligène de plateau méditerranéen) étudiées aux chapitres précédents. Par contre les Madréporaires et Gorgonaires ahermatypiques profonds (rebord et talus) paraissent être des espèces caraïbes.

— Si l'on considère l'écologie des Madréporaires et Gorgones qui constituent la faune du récif et des fonds à Mélobésiées, on constate que la proportion d'endémiques diminue avec la profondeur, ou plus exactement avec le dégré de sciaphilie des différentes espèces. Nous donnons ici un tableau conjuguant nos résultats et ceux de Bayer (1961).

Endémisme chez les espèces récifales et subrécifales

Le signe * indique les espèces indicatrices de faible turbidité moyenne.

Madréporaires	Écologie	Répartition géographique
Mussismilia braziliensis	Photophile strict*	End. Bahia-Abrolhos Aff. Miocène-Européen
Mussismilia harttii	Photophile tolérant	End. Brésil Aff. Miocène-Européen
Mussismilia hispida	Photophile tolérant	End. Aff. Miocène-Européen
Favia leptophylla	Photophile strict*	End. Bahia-Abrolhos Aff. Éocène-Caraïbe
Favia gravida	Photophile strict	End. (?) Aff. Caraïbe *(favia fragum)* et africaine
Siderastrea stellata	Photophile tolérant	End. Aff. Caraïbe (S. *radians* et S. *siderea*)
Meandrina braziliensis	Photophile*	End. (?) Aff. Caraïbe (M. *meandrites*)
Scolymia wellsii	Sciaphile tolérant*	End. Aff. Caraïbe (S. *lacera*)
Porites branneri	Photophile tolérant	End. (?) Aff. Caraïbe et Ouest-Afr.
Astrangia braziliensis	Sciaphile	End. Aff. Caraïbe (A. *solitaria*)
Porites astreoides	Photophile strict	Caraïbe
Montastrea cavernosa	Sciaphile tolérant	Caraïbe
Phyllangia americana	Sciaphile tolérant	Caraïbe
Agaricia agaricites	Photophile strict	Caraïbe
Agaricia fragilis	Sciaphile strict*	Caraïbe
Stephanocoenia michelini	Photophile tolérant*	Caraïbe
Madracis decatis	Sciaphile tolérant*	Caraïbe, Sainte-Hélène
Madracis scotiae	Ahermatypique	Cosmopolite (Te thys?) Caraïbe (J. W. Wells) comm. personnelle
Madracis pharensis	Ahermatypique	Atlanto-Méditerranéen, Caraïbe

Gorgonaires		
Phyllogorgia dilata	Photophile*	End.
Pseudopterogorgia sp.	Photophile tolérant*	End. (actuellement en cours d'étude, Bayer)
Plexaurella grandiflora	Photophile	End. Aff. Caraïbe
Plexaurella pumila	Photophile	End. statut spécif. incertain
Plexaurella dichotoma	Photophile	Caraïbe
Muriceopsis sulphurea	Photophile	End. (signalé aussi des Caraïbes)
Hydrocoralliaires		
Millepora nitida	Photophile strict	End. Bahia-Abrolhos Aff. indo-pacif.
Millepora cf. *braziliensis*	Photophile tolérant	End. Statut incertain (aff. M. *squarrosa*)
Millepora alcicornis	Photophile tolérant	Atlantique tropical (Amérique et Afrique)
Stylaster duchassaingi	Ahermatypique	Cosmopolite

Un tel tableau ne peut d'ailleurs être considéré comme définitf pour les raisons suivantes : nous n'y avons fait figurer que les espèces rencontrées sur les récifs et sur les fonds d'Algues calcaires de la plate-forme sans y inclure les formes véritablement profondes. Pour les Gorgones nous n'avons fait figurer que les formes trouvées sur le récif à l'exclusion de celles récoltées en dragages et que nous n'avons pu examiner. Enfin (voir partie systématique) le statut d'un certain nombre d'espèces de Madréporaires (comme cela est fréquemment le cas dans ce groupe où les critères spécifiques sont évanescents) n'est que provisoire, car les espèces caraïbes voisines ne sont pas suffisamment connues : c'est le cas par exemple de *Siderastrea stellata, Astrangia braziliensis* et *P. branneri* qui pourraient soit être rattachés à leur homologue caraïbe, soit être rencontrés dans les Indes occidentales; de même *Favia gravida* et *Madracis decactis* existent en Afrique occidentale dans les Iles du golfe de Guinée et dans un certain nombre d'îles de l'Atlantique Sud (dont Sainte-Hélène).

En s'en tenant aux Madréporaires et aux Hydrocoralliaires récifaux cités dans le tableau nous obtenons cependant des chiffres qui pour être sujets à critique n'en sont pas moins suggestifs; en effet, le tableau suivant montre la proportion d'endémiques dans ces deux groupes en fonction de l'écologie, on constate que le plus fort

pourcentage se trouve chez les espèces photophiles strictes et chez les espèces euryphotiques alors qu'il est relativement très bas chez les sciaphiles strictes et ahermatypiques des peuplements à Mélobésiées.

	Nombre d'espèces	Nombre d'endémiques	Pourcentage
Photophiles strictes	6	4	± 68 %
Euryphotiques	12	6	50 %
Sciaphiles strictes (et ahermatypiques)	6	1	± 17 %
Total	24	11	46 %

Sous-chapitre 2. *Rapports entre répartition verticale et répartition géographique des espèces à l'intérieur de la région corallienne brésilienne.*

Ainsi que nous l'avons vu au cours des chapitres précédents il existe une opposition marquée entre la faune des récifs et celle de la partie moyenne de la plate-forme; bien que comprenant un grand nombre d'espèces en commun elles se comportent de manière différente : la faune des récifs subit un appauvrissement graduel au fur et à mesure que l'on s'éloigne, vers le Sud ou vers le Nord, de la région de Bahia et des Abrolhos; celle de la plate-forme au contraire se conserve pratiquement constante de Cabo Frio aux côtes du Ceará. On peut donc avoir la situation suivante : à faible profondeur, un récif paucispécifique, alors qu'au large, entre 40 et 70 m, se développe une riche faune récifale, comprenant aussi bien des espèces photophiles que des formes sciaphiles (cas des côtes du Ceará). Les tableaux suivants visent à l'analyse de ce phénomène; ils montrent que les différentes espèces de Madréporaires, Gorgonaires et Hydrocoralliaires peuvent se classer en différents groupes en fonction de leur répartition (tableau : *fig.* 59, 60, 61, 62).

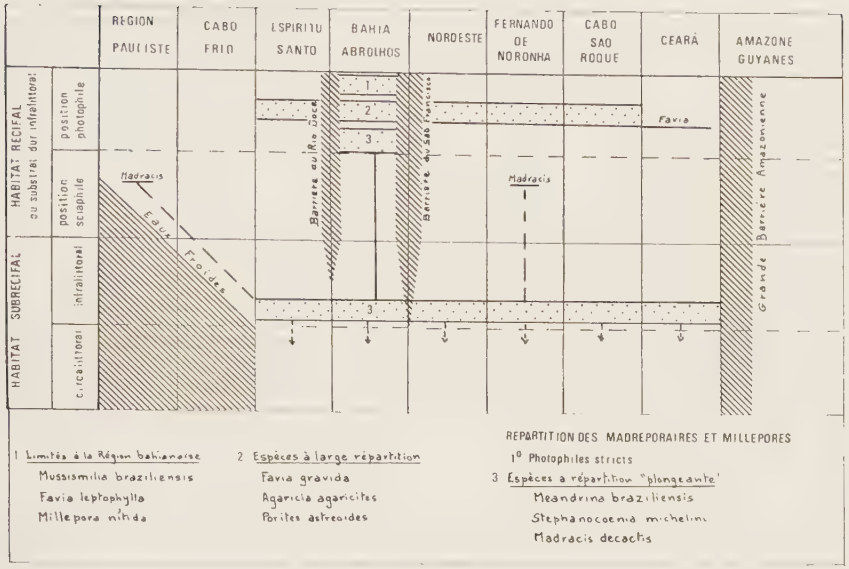


FIGURE 59

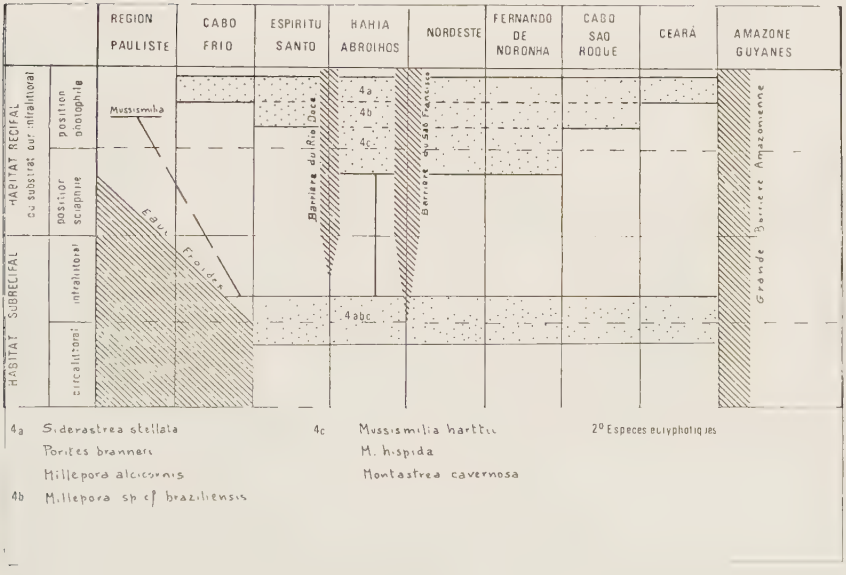


FIGURE 60

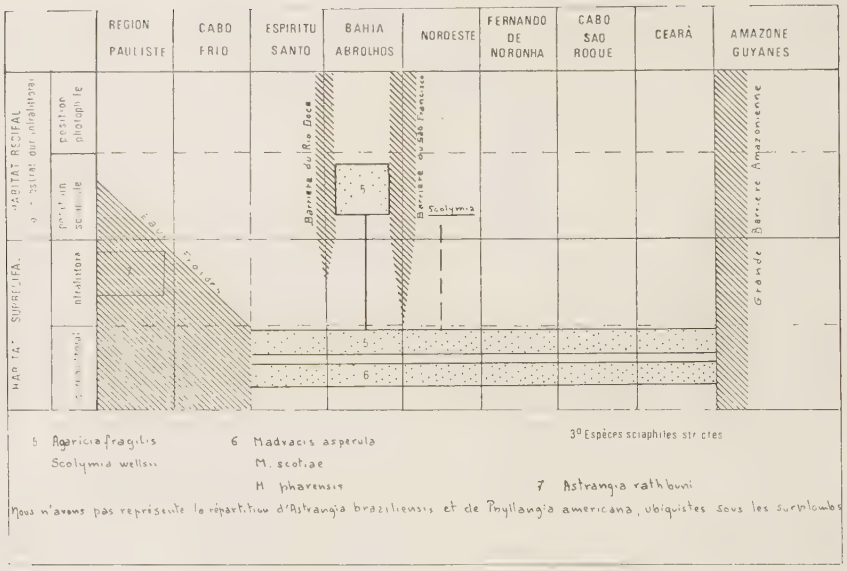


FIGURE 61

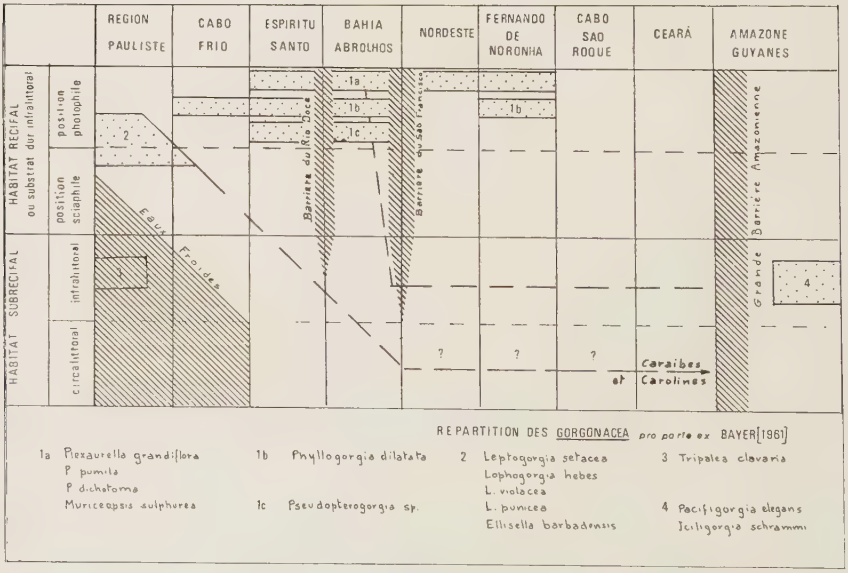


FIGURE 62

— *Le tableau n° 1* concerne la répartition verticale et horizontale des Madréporaires les plus photophiles :

• Un premier groupe (1) est confiné à la partie la mieux éclairée de la zone récifale dans la région Bahia-Abrolhos et ne pénètre ni dans la zone subrécifale ni dans les région au Nord du São Francisco et au Sud du Rio Doce; il est frappant que ce groupe soit composé seulement de trois espèces et que ce soit justement trois endémiques et même celles qui poussent l'endémisme à son maximum : *Mussismilia braziliensis* est l'espèce la moins variable et la mieux définie du genre endémique *Mussismilia* et les deux autres, *Favia leptophylla* et *Millepora nitida*, ne présentent d'affinités avec aucune autre espèce atlantique actuelle mais bien avec des formes tertiaires ou indo-pacifiques actuelles : il s'agit donc de formes anciennes vraisemblablement relictes d'une faune autrefois plus répandue.

• Le deuxième groupe (2) comprend aussi trois espèces photophiles strictes, donc limitées à la partie supérieure de la zone récifale mais dont la répartition horizontale est complètement différente de celle du groupe précédent car elle s'étend de part et d'outre des côtes bahianaises jusqu'au Cap São Roque au Nord et l'état d'Espiritu Santo au Sud; or il s'agit de trois espèces extrêmement tolérantes aux températures élevées et à la turbidité. Au point de vue de leur aire géographique, deux (*Porites astreoides* et *Agaricia agaricites*) sont caraïbes, la troisième, *Favia gravida*, bien que anciennement considérée comme endémique a, comme nous l'avons vu plus haut, une répartition assez vaste.

• Le troisième groupe (3) comprend trois espèces photophiles tolérantes qui se trouvent aussi bien sur le récif que sur la plateforme dans la région de Bahia-Abrolhos alors qu'elles se limitent à la zone subrécifale au Nord et au Sud; il s'agit d'une forme de répartition que l'on pourrait qualifier de « plongeante », ces trois espèces passant les embouchures des Rios Doce et São Francisco « par en dessous » mais n'étant pas capables de remonter sur le récif au-delà de ces barrières. sans doute à cause de conditions défavorables dans le milieu récifal (trop forte turbidité) mais il n'est pas sûr que cette seule explication soit suffisante et cette distribution pose un intéressant problème. Ce groupe comprend *Meandrina braziliensis*, endémique à fortes affinités caraïbes, et deux espèces caraïbes, *Stephanocoenia michelini* et *Madracis decactis*, le tableau indique la remontée de cette dernière espèce sous les surplombs à faible profondeur à Fernando de Noronha et dans la région pauliste.

— *Le tableau n° 2* montre la répartition des espèces euryphotiques. On remarque que le phénomène de « plongée » noté précédemment ne se produit pas au niveau des embouchures des deux rivières déjà nommées, on voit très bien l'appauvrissement progressif de la faune récifale au Nord et au Sud de la région centrale contrastant avec la constance du peuplement subrécifal.

— *Le tableau n° 3* concerne les espèces les plus sciaphiles (groupes 5 et 6), on y a fait figurer également un septième groupe formé d'une seule espèce, *Astrangia rathbuni* à répartition subtropicale, donc en dehors de la région récifale proprement dite. On notera dans le groupe 5 un phénomène de remontée sous les surplombs récifaux du Parcel des Abrolhos. Enfin les trois espèces du groupe (6) paraissent ne pas remonter sous les surplombs, ce sont d'ailleurs, de toute la faune brésilienne, celles qui ont la plus vaste répartition à l'échelle mondiale (Caraïbes - Atlantique tropical), voire cosmopolite.

— *Le tableau n° 4*, basé en partie sur les résultats de Bayer montre la répartition des Gorgonaires en incluant (avec les réserves faites précédemment) les espèces subrécifales. Le groupe (1) comprend les six espèces récifales déjà nommées (voir tableau des endémiques) ; deux d'entre elles (*Phyllogorgia dilatata* et *Pseudopterogorgia* sp.) présentent le phénomène de « plongée » au Nord du Rio São Francisco mais pas au Sud du Rio Doce. La répartition des espèces de ce groupe sur la plate-forme a été indiquée en pointillés pour les raisons énoncées plus haut. Le groupe (2), est particulièrement intéressant, il comprend cinq espèces rencontrées dans la région de São Sebastião et Ilha Grande et qui paraissent descendre jusque sur les côtes de Santa Catarina, elles possèdent donc la même répartition qu'*Astrangia rathbuni* (tableau 3) ; parmi elles, *Lophogorgia hebes* et *Leptogorgia setacea* se rencontrent aussi sur les côtes de Caroline du Nord et dans le Golfe du Mexique (Texas) donc au Nord de la région caraïbe proprement dite, les autres sont caraïbes ou endémiques. Certains dragages montrent que certaines d'entre elles se trouvent le long des côtes tropicales du Brésil sur la partie externe de la plate-forme entre 50 et 90 mètres; par contre, nous sommes certains qu'elles ne se trouvent pas sur les récifs.

Enfin les groupes (3) et (4) ne font pas partie de la région brésilienne proprement dite, le premier comprenant une seule espèce, *Tripalea clavaria* (Studer) des côtes de l'Urugay et l'Argentine, le second des espèces localisées à la région Guyanaise, de l'embouchure de l'Amazone à celle de l'Orénoque (Bayer, 1961).

Sous-chapitre 3. *Place de la région brésilienne dans l'Atlantique tropical*

Un certain nombre d'études récentes ont cherché à préciser les rapport de la faune marine des côtes du Brésil avec celle des régions avoisinantes et à délimiter d'éventuelles sous-régions faunistiques. Citons particulièrement les trauvaux de Tommasi (1965) sur les Ophiuroides et de Klappenbach (1965) sur les *Mytilidae*. Comparant nos résultats à ceux de ces auteurs et aux données d'Ekman, Deichmann, Bayer et autres chercheurs, nous essaierons de présenter un tableau synthétique provisoire.

— *Subdivisions régionales des côtes Sud-Américaines* (faunes superficielles).

Au Sud de l'embouchure de l'Orénoque et de l'Ile de Trinidade se place :

1) *La région Guyanaise* (Balech, Tommasi) caractérisée par un certain nombre d'espèces endémiques chez les Ophiures et les Gorgonaires (Bayer) ; Tommasi en fixe la limite méridionale à la latitude de 6-7° S mais nos résultats et ceux des dragages de l'Institut Océanographique de Recife, tendent à déplacer cette limite vers le Nord de façon sensible, à peu près jusqu'à la hauteur de São Luiz do Maranhão (2°30' S), l'espèce la plus caractéristique étant la Gorgone (*Pacifigorgia elegans* (Milne Edwards et Haime), qui y paraît inféodée (Trinidade, Guyanes, Iles du Salut, Maranhão). Cette région correspond à la vaste zone de sédiments vaseux qui s'étend de l'embouchure de l'Amazone à celle de l'Orénoque. Elle a joué et joue encore comme nous l'avons vu un rôle de barrière entre la région caraïbe ou antillaise et la région brésiliennne et ne comporte aucune formation corallienne.

2) *La région brésilienne tropicale* (région bahianaise de Balech).

Nous avons vu que la faune corallienne récifale y comprenait une proportion importante de Madréporaires et Gorgonaires endémiques; il semble que celle-ci soit plus faible pour les autres groupes bien que Tommasi et Klappenbach admettent cette division zoogéographique (Klappenbach cite 8 espèces endémiques parmi les *Mytilidae*). En ce qui concerne les limites de cette région qui englobe les Iles Océaniques de Fernando de Noronha, de Rocas et de Trinidade, nous ne nous baserons pas sur l'existence de récifs coralliens ou sur la richesse de la faune de Madréporaires dans les niveaux superficiels puisque nous avons constaté en effet un très fort appauvrissement de celle-ci au Nord et au Sud des Abrolhos, mais plutôt sur la répartition des peuplements coralliens de la

partie moyenne de la plate-forme entre 30 et 80 m; suivant ce critère la région s'étend de Maranhão à Cabo Frio (avec un prolongement en surface jusque sur les côtes de São Paulo, mais celui-ci doit apparaître comme secondaire par rapport au changement de faune sur la plate-forme au Sud de Cabo Frio).

La région brésilienne tropicale possèdant un véritable « noyau faunistique » dans la région qui va de la Baie de Salvador à l'Archipel des Abrolhos, le terme de région bahianaise, dû à Balech, lui convient parfaitement.

3) *La région brésilienne méridionale* (région pauliste) s'étend, d'après Tommasi (South brazilian Province), jusqu'à l'embouchure du Rio de la Plata pour certaines espèces et jusqu'au Cap Santa Marta Grande (Santa Catarina, par 28°37' S) pour d'autres. Cette dernière limite est adoptée par Klappenbach. Nous n'avons pu prospecter cette localité mais il semble qu'il faille se ranger à l'avis de cet auteur. En ce qui nous concerne, cette région, qui comporte encore quelques espèces de Madréporaires récifaux (mais plus de Gorgones récifales) localisés dans des « oasis » à très faible profondeur, est caractérisée par *Cladocora patriarca* Pourtales, *Astrangia rathbuni* et les Gorgonaires *Lophogorgia punicea* et *L. violacea*, trouvés en peuplements abondants à faible profondeur alors qu'ils sont absents des récifs au Nord de Cabo Frio; les Zoanthaires tropicaux, en particulier *Palythoa* sont encore présents. De même les mangroves se prolongent jusqu'à Cananeia, au Sud de Santos ainsi que les prairies de la Phanérogame marine tropicale *Diplanthera* sp.; les genres d'Echinodermes *Oreaster, Clypeaster, Encope, Mellita,* descendent jusque dans la région de Torres (Gliesch, 1925).

Il s'agit donc d'une région de transition entre la région tropicale brésilienne proprement dite et la région uruguayenne et argentine (que nous n'étudierons pas) caractérisée par un appauvrissement de la faune tropicale de surface et la disparition des peuplements tropicaux de la partie moyenne de la plate-forme.

Or la région comprise entre les côtes Nord de la Floride et l'embouchure de la rivière Chesapeake, sur la côte Est des Etats-Unis, présente des caractéristiques analogues; bien que les récifs de coraux disparaissent au Nord de Miami, le genre *Oculina* se rencontre à faible profondeur jusqu'à la latitude de Beaufort (Caroline du Nord) ainsi que les prairies de Diplanthères; de plus une espèce d'*Astrangia, A. danae* Milne Edwards et Haime y possède sur la plate-forme une répatrition analogue à celle de *A. rathbuni* dont elle est très proche (voir partie Systématique de ce travail), on

est frappé également par la présence de *Leptogorgia setacea* et *Lophogorgia hebes*.

Du point de vue zoogéographique les côtes de l'Atlantique tropical occidental présentent donc une intéressante symétrie par rapport à l'Equateur (donc par rapport à la région guyanaise). Au Nord et au Sud se trouvent d'abord deux régions tropicales à faune corallienne (région caraïbe et région brésilienne tropicale) puis deux régions d'appauvrissement contenant certaines espèces analogues identiques : la région des Carolines au Nord et la région pauliste au Sud; cette symétrie ne semble pas avoir été remarquée jusqu'à présent et il appartiendra à des recherches ultérieures de préciser ou d'infirmer cette conception, présentée ici au titre d'hypothèse de travail. De plus les espèces communes à ces deux régions extrêmes semblent se trouver en profondeur sur la partie externe de la plate-forme dans la région tropicale brésilienne, il sera intéressant de vérifier s'il n'y a pas de contact profond par dessous la barrière amazonienne et si la remontée de ces formes à faible profondeur n'est pas une conséquence du refroidissement des eaux.

Nous donnons ici une carte récapitulant les divisions faunistiques sur les côtes tropicales orientales des deux Amériques (*fig.* 63).

On remarquera les analogies faunistiques entre la région des Carolines et les côtes de São Paulo et Santa Catarina correspondant à des conditions hydrologiques analogues; dans les deux cas un courant chaud tropical s'éloigne du littoral, l'intervalle étant rempli par des eaux « intermédiaires » résultant d'un mélange entre les eaux chaudes et des eaux froides en provenance de latitudes plus élevées.

Sous-chapitre 4. *Essai d'interprétation des principales barrières biologiques rencontrées.*

Il apparaît à la lumière de ce qui précède que la région corallienne tropicale des côtes du Brésil est limitée au Nord et au Sud par deux barrières de type différent : au Nord la barrière amazonienne (d'origine fluviale et sédimentaire) et au Sud une barrière thermique d'origine multiple (upwelling de la région de Cabro Frio et influence des eaux froides méridionales).

De plus, de part et d'autre des Abrolhos, se rencontrent deux barrières fluviales secondaires qui jouent un rôle dans la répartition horizontale des Madréporaires ainsi que nous l'avons vu plus haut.

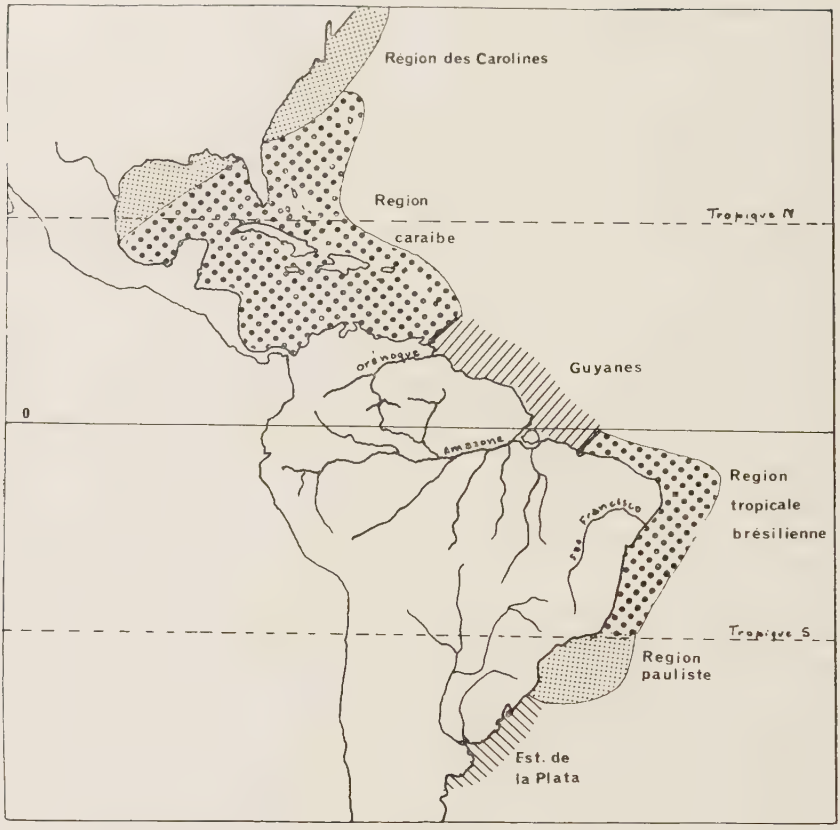


FIGURE 63

a) *La barrière amazonienne.*

Il s'agit là d'un obstacle permanent pour les Madréporaires, et cela depuis un temps très reculé puisque d'une part les première couches sédimentaires non marines du bassin amazonien sont d'âge crétacé et que d'autre part les Madréporaires endémiques brésiliens ont des affinités nettes avec des faunes miocènes. Il est vraisemblable que l'isolement entre faunes coralliennes brésilienne et caraïbes date de cette dernière période, à laquelle d'ailleurs il est possible qu'un contact temporaire se soit établi (sédiments marins à faune subrécifale de la formation Pirabàs). La première caractéristique de la barrière amazonienne est donc sa pérennité.

Comment fonctionne cette barrière et pourquoi affecte-t-elle de préférence les espèces récifales et principalement les Madrépo-

raires ? Depuis Verrill (1902) on a fait surtout intervenir deux facteurs : la salinité faible des eaux de surface sous les influences du grand fleuve et aussi la direction SE-NW du courant (branche Nord du courant tropical) qui empêcherait le passage vers le Sud des formes caraïbes. Dans l'attente d'une étude détaillée de cette région nous pouvons ajouter, à titre indicatif, un certain nombre de données.

Des études récentes du Service Hydrographique de la Marine brésilienne effectuées à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale 1957-1958 ont donné les résultats suivants : (Publication anonyme, D.H.N., 1959)

— Les mesures de salinité effectuées dans l'estuaire, de Belem à Salinopolis, montrent que celle-ci atteint rapidement des valeurs élevées atteignant presque 38 ‰ (ce qui est une des valeurs les plus hautes jamais mesurées sur les côtes brésiliennes) au voisinage de Salinopolis, soit légèrement en dehors de l'estuaire proprement dit. Il faut tenir compte du fait que ces mesures ont été effectuées à la fin de la saison sèche d'une année particulièrement peu pluvieuse, mais la teneur des sédiments en calcaire est élevée dans la région de Salinopolis ce qui laisse entendre que la salinité moyenne reste élevée dans ce secteur.

— Les mesures de courant et de dérive effectuées en surface par l'« Almirante Saldanha » montrent une direction Ouest et Nord Ouest avec des vitesses maximum de près de trois nœuds.

— L'étude des sédiments récoltés (Ottmann et Ottmann, 1959) a donné les résultats suivants : devant les deux branches principales de l'embouchure s'étendent sur une grande distance vers le large (de l'ordre de 60 à 80 km) des fonds de sable quartzeux, parfois ferrugineux, de type fluviatile; plus au large, une vaste zone située une centaine de kilomètres devant l'Ile de Marajo est couverte de vases argileuses fines, très pauvres en calcaire, riches en éponges siliceuses, qu'Ottmann classe dans les faciès d'estuaires et qui pourrait d'après cet auteur représenter une zone de déposition brusque par floculation des sédiments argileux. Enfin la plate-forme est couverte, au large des formations précédentes par des sables littoraux riches en coquilles, avec une teneur en calcaire qui peut atteindre 60 % et plus, ou au contraire descendre à des valeurs très basses. La faune, que nous n'avons malheureusement pu examiner comprend de nombreux Bryozoaires, Echinodermes, Spongiaires, Alcyonaires et Gorgonaires. Enfin au large du rebord de la plate-forme (situé ici à près de 200 km de la côte) s'observent des boues à Globigérines profondes. Malheureusement nous ne

disposons pas de données pour les côtes situées au Nord de l'estuaire; il semble cependant que l'influence des courants dirigés vers le Nord et le Nord-Ouest soit prépondérante. La barrière amazonienne serait donc bien plus une barrière sédimentologique qu'une barrière de salinité (tout au moins pour les faunes benthiques), elle commencerait à une faible distance au Sud de l'embouchure et se prolongerait vraisemblablement très loin au Nord de celui-ci sous l'influence des courants.

En somme il est vraisemblable que dans toute la zone supérieure de la plate-forme toute installation d'une faune corallienne photophile à dominance de Madréporaires soit impossible par suite du manque de substrat approprié et peut-être aussi de conditions hydrologiques (turbidité) défavorables. Sur les parties les plus profondes et le rebord de la plate-forme au contraire il existerait une possibilité pour que des faunes coralliennes sciaphiles puissent se développer sous forme d'« oasis » ou d'une bande continue. Un phénomène analogue a été mis en évidence devant l'embouchure du Mississipi : à partir d'une profondeur d'une cinquantaine de mètres la faune de Gorgones ne paraît pas affectée (Bayer, 1961). Enfin au-delà du rebord de la plate-forme il ne semble pas y avoir, sauf au niveau d'éventuels canyons, de perturbation notable tout au moins dans la région étudiée.

Ce qui caractériserait donc la barrière amazonienne et la rendrait infranchissable pour de nombreux Madréporaire serait donc :

— La direction du courant dominant, empêchant tout apport de larves dans le sens Caraïbes-Brésil, ainsi que le remarquait déjà Verrill, (1902).

— La présence de sédiments sablo-vaseux sur une extension considérable, vraisemblablement depuis l'Amazone jusqu'à l'Orénoque, empêchant toute installation de « relais » coralliens.

Il nous est malheureusement impossible d'établir si des contacts directs ont pu avoir lieu récemment entre les deux faunes récifales, soit dans un sens soit dans un autre. La faible durée de la vie pélagique des larves de Madréporaires et leur tendance à rester près du fond explique certainement en grande partie pourquoi c'est surtout dans ce groupe que les contacts Caraïbes-Brésil ont été les moins fréquents; cependant si la probabilité de tels contacts est très faible sur la partie supérieure de la plate-forme elle devient de plus en plus forte quand la profondeur augmente; l'opposition entre l'endémisme des espèces photophiles et le caractère plus cosmopolite des espèces sciaphiles s'expliquerait ainsi naturellement.

b) *Les barrières secondaires : Rio Doce et Rio São Francisco.*

Nous avons vu que les embouchures de ces deux fleuves délimitent la région bahianaise; comme pour l'Amazone il semble que le phénomène de « barrière » soit dû essentiellement à l'existence d'une « ceinture sédimentaire » que les courants (ici le courant du Brésil) ont étalée le long de la plate-forme sur des distances considérables; la turbidité des eaux joue aussi, sans doute, un rôle important. Les dragages de l' « Akaroa » ayant montré comme nous l'avons dit plus haut un contact en profondeur devant l'estuaire entre les faunes coralliennes de la plate-forme on comprend ainsi pourquoi le passage des formes sciaphiles a été possible vers le Nord alors que des photophiles stricts comme *Mussismilia braziliensis, Favia leptophylla* et *Millepora nitida,* que nous n'avons jamais rencontrés à plus d'une quinzaine de mètres de profondeur, n'ont pas pu passer.

Le phénomène de « plongée » que nous avons décrit pour certaines espèces photophiles tolérantes s'explique par la possibilité pour ces espèces ordinairement caractéristiques de la partie supérieure de la plate-forme, de former aussi des peuplements denses au-delà d'une trentaine de mètres; ce n'est pas le passage de ces espèces par dessous l'estuaire qui est surprenant mais bien plus l'incapacité pour certaines d'entre elles de remonter de nouveau sur la partie supérieure de la plate-forme une fois l'estuaire dépassé, ce qui pourrait être rapporté à la forte turbidité des eaux côtières sur les côtes du Nordeste.

c) La barrière thermique du Sud.

Nous avons vu, dans le chapitre premier de ce travail, consacré à un rappel d'océanographie physique, qu'il s'agissait d'une zone étendue où le mélange entre les eaux chaudes du Courant du Brésil et celles plus froides en provenance du Sud se faisait progressivement; nous avons vu aussi qu'un upwelling localisé au secteur de côte compris entre Cabo Frio et Rio de Janeiro était responsable de changements extrêmement brutaux dans la faune. Une étude bionomique et hydrologique poussée de la région comprise entre l'embouchure du Rio Doce et la région de Santa Catarina est indispensable pour la compréhension de détail de cette barrière.

Si nous résumons les données actuellement disponibles, nous pouvons en donner le schéma provisoire suivant :

— A faible profondeur, l'appauvrissement de la faune corallienne entre l'embouchure du Rio Doce et Cabo Frio est vraisemblable-

ment dû à l'effet de barrière fluviale étudié au paragraphe précédent aussi bien qu'à des influences froides; mais dans quelles proportions?

— La région de Cabo Frio marque certainement un pas décisif dans le refroidissement des eaux de surface; on peut penser que les eaux chaudes du Nord se heurtent, autour du Cap aux eaux profondes froides remontées le long de la côte Sud, les premières remplissant les baies ouvertes vers le Nord-Est où se placent les « oasis coralliennes » que nous avons décrites.

— Pendant ce temps la branche principale du courant du Brésil qui s'était détachée du rivage à la hauteur des Abrolhos (Emillson, 1960) baigne les bancs situés au large de la côte de l'Etat d'Espiritù Santo, y déterminant des peuplements à Madréporaires sciaphiles et Mélobésiées, puis passe au large de Cabo Frio sans plus rejoindre le littoral.

— Au Sud de Cabo Frio, l'influence froide de l'upwelling semble disparaître dans la région d'Ilha Grande, Angra dos Reis et São Sebastião ou s'observent les derniers peuplements de Madréporaires récifaux, mais ceux-ci sont strictement limités aux premiers mètres de l'étage infralittoral, une diminution brutale de température étant sensible entre 4 et 5 mètres de profondeur.

— Au large, il semble qu'on ne trouve pas de peuplements coralliens sur la plate-forme au Sud de Cabo Frio, d'où le choix de cette localité pour marquer la limite entre la région brésilienne tropicale et la région brésilienne méridionale. Le refroidissement est ensuite régulier jusque sur les côtes du Rio Grande do Sul.

Sous-chapitre 5.

Hypothèses sur l'histoire de la faune récifale brésilienne au quaternaire.

On ne connaît sur l'ensemble des côtes du Brésil aucune formation récifale fossile d'âge Tertiaire ou Quaternaire ancien, les couches marines du début du Tertiaire (Maria Farinha) ou du Miocène (Pirabàs) n'ont pas fourni de Madréporaires récifaux. Il semble d'ailleurs que le tracé des côtes soit resté proche de l'actuel depuis un temps considérable.

Les affinités miocènes de la faune corallienne récifale et la permanence de la barrière amazonienne permettent de penser que cette faune s'est établie sur les côtes brésiliennes au milieu ou à la fin de l'ère Tertiaire (estimation hypothétique en l'absence de don-

nées paléontologiques) et surtout qu'elle s'y est maintenue sans interruption jusqu'à nos jours. Le caractère photophile strict et la faible tolérance à la turbidité des endémiques les plus représentatives permet, de plus, d'affirmer que les conditions dans lesquelles s'est maintenue cette faune sont toujours restées favorables et en particulier qu'il n'a jamais dû cesser d'y avoir des récifs ou des bancs récifaux bien développés à une profondeur de moins de 20 m.

La faune corallienne récifale brésilienne n'a donc pas été éliminée, tout au plus appauvrie, par les bas niveaux marins correspondants aux périodes glaciaires. Il devrait donc exister des thanatoçoenoses récifales correspondant à ces périodes.

Si on considère les cartes marines, on voit que le long des côtes du Nordeste le rebord de la plate-forme se trouve entre 80 et 100 mètres et que la chute est brutale après cette profondeur; ce profil abrupt ne permet guère de penser (sans toutefois en exclure la possibilité) que cette région ait été richement peuplée de formations coralliennes lors des bas niveaux, d'autant plus que l'érosion subaérienne de la plate-forme devait alors entrainer une forte turbidité.

Par contre, deux régions semblent particulièrement favorables du point de vue de la topographie; la première est constituée par l'ensemble de hauts-fonds alignés d'Est en Ouest le long d'une ligne Fortaleza-Fernando de Noronha; leur profondeur moyenne est de 50 mètres à leur partie supérieure; mal cartographiés ils sont susceptibles de posséder des surfaces faiblement inclinées entre 100 et 150 m; plus intéressante apparaît la région des Abrolhos où de nombreux bancs s'étendent entre 30 et 150 m de profondeur; les arguments faunistiques ne manquent pas pour défendre cette seconde localisation puisque ces bancs sont situés au cœur même de la région bahianaises, la plus riche, alors que les premiers sont situés au large d'une région de peuplements récifaux très appauvris; si les endémiques photophiles s'étaient conservées sur ces bancs elles devraient normalement se rencontrer sur les rivages de Rocas et de Fernando de Noronha, ce qui n'est pas le cas.

Les bancs situés au large des côtes de Bahia, Espirito Santo (Bancs des Abrolhos, Vitoria, Jaseur, Congress, etc...) doivent donc être envisagés comme de possibles « oasis » quaternaires et il sera intéressant d'étudier leur structure et celle de leurs flancs pour y rechercher d'éventuelles traces de récifs ennoyés, du genre de ceux observés au large des côtes des Carolines entre 80 et 100 m et datés de 19 000 ans (Menzies, 1966). Lors de la remontée du niveau marin de nombreuses surfaces ont dû être disponibles à des profondeurs variées permettant ainsi aux Madréporaires de se déplacer

vers le rivage. La disposition actuelle de la faune de part et d'autre des barrières du Rio Doce et du São Francisco suggère également que l'extension des coraux récifaux lors des bas niveaux pourrait avoir été limitée à la région des Abrolhos, le repeuplement se faisant ultérieurement vers le Nord et vers le Sud. Il est vraisemblable que la faune corallienne est sortie appauvrie de ces tribulations successives et que comme partout ailleurs dans l'Atlantique tropical elle n'est qu'un reflet assez terne de ce qu'elle était au Tertiaire.

Chapitre II

PROBLEMES ECOLOGIQUES ET BIONOMIQUES

Sous-chapitre 1. — *Zonation des peuplements sur les récifs brésiliens*

L'étude des récifs coralliens a toujours été en grande partie une étude morphologique, on a pu ainsi reconnaître à travers le monde un certain nombre de traits physiographiques communs et qui ont été désignés par des termes standard (pente externe, crête, platier, cayes, pente interne, chenal d'embarcation ou lagon, etc...). L'étude biologique des récifs a montré que chacune de ces zones portait des peuplements caractéristiques et constituait donc une zone bionomique. Comme c'est le cas partout où le substrat présente une certaine complication morphologique les peuplements sont répartis en fonction de la topographie.

Les avantages de cette superposition entre les zonations morphologiques et biologiques sont évidents : le biologiste, le géologue ou le géographe peuvent réaliser des travaux superposables, le vocabulaire et les critères de ces trois spécialistes étant essentiellement topographiques, ceci est particulièrement important à une époque où le travail d'équipe entre spécialistes de formation différente s'impose de plus en plus.

Cependant la comparaison biologique entre des récifs de morphologie comparable révèle parfois des différences considérables; c'est en particulier le cas du peuplement des platiers. Il paraît donc que le biologiste doit essayer de se libérer du critère topographique, non pour en contester la valeur, mais au contraire dans le but de mieux en comprendre la signification et d'en préciser les limites.

Dans une note récente (1967), J. Picard donne un schéma de la répartition des grands types de peuplement récifaux et liés au récif dans la région de Tuléar (Madagascar). Ce schéma qui représente une analyse des conditions écologiques dans les différentes zones du récif a été préparé par cet auteur de façon à être valable

pour la plupart des récifs de la région Indo-pacifique. PICARD reconnaît, du bord de la plate-forme continentale au rivage, cinq grands ensembles qui sont :

— l'ensemble Prélittoral : correspondant à l'étage circalittoral,
— l'ensemble Frontorécifal : correspondant à la pente externe et à la crête,
— l'ensemble Epirécifal : platier, levée de blocs, cayes, herbiers récifaux,
— l'ensemble Postrécifal : chenal d'embarcations ou lagon,
— l'ensemble Frontolittoral : herbiers littoraux, mangrove littorale, plage.

Le grand avantage de ce schéma est qu'il permet, par suppression d'un ou plusieurs ensembles de représenter de façon fidèle n'importe quel type de récif. Nous avons constaté que tous les ensembles (qui sont décrits par leurs caractéristiques topographiques, sédimentologiques, hydrodynamiques et bionomiques) du schéma de PICARD se retrouvent sur les récifs brésiliens avec des peuplements homologues, et il en est de même des récifs caraïbes sur lesquels nous possédons des données. Nous utiliserons le schéma de PICARD dans cette étude comparative des différents types de peuplements des récifs brésiliens et de leurs homologues caraïbes et indo-pacifiques; il est cependant évident qu'il ne s'agit encore que d'une comparaison fragmentaire et provisoire puisque la connaissance des peuplements brésiliens se résume aux Madréporaires et Gorgonaires. Il s'agit donc d'un schéma que viendront corroborer ou modifier les études ultérieures (*fig.* 63).

Dans les paragraphes suivants nous n'étudierons que les peuplements de Madréporaires à l'intérieur des divers ensembles décrits par PICARD; l'étude des substrats meubles sortant du cadre de notre travail.

A) L'ENSEMBLE PRÉLITTORAL.

Nous n'en étudierons que la partie externe, la seule à porter des peuplements coralliens. Bien qu'elle ne soit jamais en continuité avec les récifs proprement dits, cette région, qui s'étend sur la plate-forme entre 40 et 70 mètres à peu près, possède comme nous l'avons vu une importance considérable tant par l'abondance de sa faune que par la répartition très homogène de celle-ci du Ceará à Cabo Frio. Nous ne reviendrons pas sur ce que nous en avons déjà dit, cherchant plutôt à la comparer aux termes supérieurs de

la zonation et aux peuplements correspondants des régions caraïbes et indo-pacifiques. Tout d'abord elle est caractérisée par la prépondérance des Mélobésiées. Les Madréporaires quoique nombreux n'ont aucun rôle concrétionnant (quelques petits pinacles de *Siderastrea* et de *Montastrea* mis à part). Les espèces caractéristiques de cette zone sont celles que nous avons classées dans les sciaphiles strictes (les *Madracis* rameux, *Scolymia wellsi* et *Agaricia fragilis*). Les Mélobésiées sont encore à l'étude, la faune de Gorgones et de Spongiaires, riche, encore mal connue ainsi que la flore d'Algues non calcifiées.

La situation de cette zone en dessous de la limite des herbiers (*Halophila decipiens* descend jusqu'à 40 mètres dans la région des Abrolhos) la place sans équivoque dans l'étage circalittoral malgré la présence de nombreuses espèces euryphotiques, d'ailleurs morphosées.

De plus certaines espèces (*Madracis asperula* et *M. pharensis*) ont une répartition assez large à l'échelle mondiale.

Du point de vue écologique ce sont des formations d'eaux claires, généralement à courants assez forts et plus fraîches que les eaux de surface (autour de 24° contre 27° pour les eaux de surface).

Comparaison avec les autres régions.

La plus nette et la plus intéressante à notre avis est celle avec le coralligène de plateau méditerranéen, dans sa région la plus typique, en Méditerranée orientale Peres et Picard (1956) ; l'analogie avait déjà été remarquée par Laubier (1966) mais la région de Banyuls étudiée par cet auteur, où le coralligène est établi sur roche, se compare moins favorablement avec les fonds brésiliens, qui sont, eux, généralement établis sur substrat meuble.

D'autre part, la région inférieure de la pente externe des récifs caraïbes ainsi que les peuplements sur fond horizontal qui y correspondent entre 40 et 100 mètres n'ont fait l'objet que d'un nombre réduit d'études. Cependant des précisions intéressantes nous sont données par Hartman et Goreau (1963) et Roos (1964) ; les premiers ont pu observer, sur la partie externe des récifs de la Jamaïque, entre 40 et 70 m des peuplements coralliens à *Agaricia* spp. en particulier *A. undata* (Ell. et Sol.), *A. fragilis* (Dana) et *A. cucullata* (Ell. et Sol.). Le pouvoir constructeur de ces espèces parait très faible à cause de la faible luminosité qui règne à ces profondeurs sur les falaises subverticales étudiées et de l'action destructrice des Cliones. De même Roos (1964) a pu effectuer à Curaçao des observations jusqu'à une cinquantaine de mètres,

décrivant de riches peuplements peu constructeurs à *Montastrea cavernosa* (qui peut descendre plus bas que *M. annularis*), *Solenastrea bournoni* Milne Edwards et Haime et *Mycetophyllia lamarckiana* (Milne Edwards et Haime).

Ces auteurs insistent sur l'importance que prennent les Spongiaires dans les eaux calmes des profondeurs de la pente externe, certaines espèces participant à la construction d'édifices mixtes très peu cohérents qui peuvent s'ébouler périodiquement et constituer des talus de pied de falaise considérables (Goreau et Hartman, 1963). Il est intéressant de remarquer que nous avons pu constater un phénomène analogue sur les tombants de Méditerranée orientale (Laborel, 1961). C'est ainsi qu'à la pointe de Lindos (Ile de Rhodes) nous avons observé, sous un auvent rocheux situé à 25 m, un concrétionnement extrêmement actif, à base de Spongiaires et de Mélobésiées, formant de larges encorbellements en porte à faux qui semblent s'écrouler régulièrement sous l'influence de leur propre poids ou, peut être, de certains coups de mer particulièrement forts; donnant ainsi un éboulis très mobile qui se continue jusqu'à plus de cinquante mètres de profondeur.

Il est à noter que si les peuplements de la plate-forme brésilienne se comparent comme nous l'avons dit, au coralligène de plateau méditerranéen, les formations décrites par Goreau et Hartman, elles, font penser, par certains côtés, au coralligène d'horizon inférieur de la roche littorale.

Plus profondément, ce sont surtout les dragages, déjà anciens, qui nous renseignent sur la composition de la faune : les peuplements les plus proches de ceux de la zone subrécifale brésilienne se situeraient entre 50 et 80 m (Vaughan, 1901, Pourtalès, 1871, 1874) le long des côtes de Floride et de Porto Rico étudiées par ces deux auteurs; ils contiennent des espèces mal connues taxonomiquement, *Agaricia cailletti* (Duch. et Mich.), *Madracis mirabilis* (Duch. et Mich.) et *Madracis asperula* Milne Edwards et Haime comme au Brésil.

Dans la région Indo Pacifique, les travaux de Wells, dans les Iles Marshall (1954) montrent deux zones successives s'échelonnant de 10 à 80 brasses : tout d'abord une zone à *Echinophyllia* qui comprend un mélange d'espèces rencontrées également dans les horizons supérieurs du récif et présentant des morphoses de profondeur et d'espèces localisées sous les surplombs et dans les parties profondes de la pente externe; puis une zone à *Leptoseris* qui comprendrait de plus des formes ahermatypiques.

Sur le récif de Tuléar, sans doute à cause de la forte turbidité qui limite la pénétration de la lumière en profondeur, on observe

une zone à *Echinophyllia* et *Leptoseris* comprise entre 20 et 30 m à la base du récif (Picard, 1967) ; cet auteur la fait entrer dans l'ensemble frontorécifal. Il y a là un point à préciser car les zones décrites de Bikini par Wells comme les peuplements profonds que nous décrivons des côtes brésiliennes, nous paraissent indiscutablement appartenir à l'étage circalittoral donc à l'ensemble frontolittoral de Picard. Physionomiquement l'abondance d'espèces fragiles foliacées ou branchues paraît constante à l'échelle mondiale, elle serait due en partie à l'adaptation aux conditions ambiantes d'hydrodynamisme très faible et aussi à la luminosité très réduite qui ne favorise pas la calcification des Madréporaires (Goreau, 1961, 1963) c'est ainsi que toutes les morphoses profondes d'espèces euryphotiques observées au Brésil se caractérisent par leur calcification beaucoup plus faible que sur le récif et par un étalement dans le plan horizontal (augmentation du diamètre des calices, ou de la largeur de l'exothèque entre les calices dans la plupart des cas).

La séparation entre la zone subrécifale et le récif caractérise la région brésilienne (grand éloignement des récifs du rebord de la plate-forme). Ce manque de liaison fait apparaître un « trou » dans la zonation des côtes brésiliennes, qui représenterait la zone intermédiaire décrite par Roos (1964) et Lewis (1960) sur les récifs de Curaçao et de la Barbade, s'étendant de 30 à 50 m, à *Scolymia lacera* (Pallas) (= *Mussa lacera* Roos), *Solenastrea bournoni* (Milne Edwards et Haime) et *Mycetophyllia lamarckiana* (Milne Edwards et Haime). Il n'existe rien de comparable au Brésil où nous ne connaissons aucun récif qui descende à ces profondeurs.

B) L'ensemble frontorecifal.

Nous groupons sous ce vocable la pente externe et toute la partie immergée du récif située en avant de la rupture de pente platier, portant des peuplements denses d'Hydrocoralliaires et de Madréporaires infralittoraux à activité constructrice. Nous verrons que cette définition, choisie à dessein assez large, inclût les pinacles isolés de la région des Abrolhos aussi bien que les bancs coralliens du type Base Aérienne de Récife. Du point de vue de la répartition des espèces la pente externe se compose essentiellement de trois zones qui sont :

— une zone supérieure à *Millepora alcicornis*,
— une zone moyenne à *Mussismilia braziliensis* et *Favia leptophylla*,
— une zone inférieure à *Montastrea cavernosa*.

On doit y ajouter :

— des surplombs à *Scolymia* et *Agaricia*, enclaves remontées de la zone subrécifale.

Le peuplement de la zone moyenne varie assez considérablement au Nord du São Francisco : ces variations sont celles que nous avons représentées dans les tableaux des chapitres précédents. Dans la région de Nordeste on peut parler d'une zone à *Mussismilia harttii*. Nous retrouvons là par exemple la zonation de la pente externe du récif de Porto de Galinhas, si nettement tranchée ou encore celle des récifs de Tambaù. Enfin plus au Nord (Maracajahù, Cabo São Roque) après la disparition des *Mussidae* de la région récifale, l'espèce dominante devient *Siderastrea stellata*. La répartition des espèces est la même sur la pente externe d'un récif émergeant, sur les flancs et le sommet des « chapeirões » ou sur les bancs coralliens et les seules différences observables sont un étalement plus ou moins grand des zones en fonction de la topographie : étroites et bien limitées sur un tombant abrupt, larges et passant insensiblement de l'une à l'autre sur un banc au fur et à mesure que la profondeur croît.

Dans le cas des récifs où l'activité constructrice est forte (Abrolhos par exemple) on constate qu'une grande partie du travail d'édification et de croissance verticale se fait dans la zone à *Mussismilia*, grâce à *Mussismilia braziliensis*, ce maximum se situant entre 3-4 m et une quinzaine de mètres de profondeur.

Comparaison avec la région caraïbe

— *Jamaïque*. — Goreau décrit un certain nombre de zones que nous considérons comme équivalentes à notre pente externe; elles sont désignées par cet auteur du nom spécifique de l'espèce dominante. Ce sont du large vers le platier :

— *l'* « *annularis* zone » caractérisée par *Montastrea annularis* allant de 30 à 15 m;

— la « *cervicornis* zone » à *Acropora cervicornis* de 15 à 7-8 m;

— une « buttress zone » ou zone des contreforts, caractérisée plus par sa topographie que par son peuplement qui est composite et montre une zonation : *Acropora palmata* sur les parties supérieures avec de nombreuses espèces photophiles, sur les parois au contraire dominent *Montastrea annularis, Diploria* spp. et *Siderastrea siderea*;

— enfin une « *palmata* zone » à *Acropora palmata* dont la partie supérieure passe à la zone de ressac (surf zone) immédiatement

en avant du platier. La comparaison avec la zonation brésilienne est compliquée par la présence des *Acropora* et en particulier de *A. palmata* dont les colonies arborescentes géantes entrelacées donnent une allure si particulière à la partie supérieure des récifs caraïbes. Cependant le même auteur signale que dans les environs de Port Royal cette espèce, vraissemblablement éliminée par les ouragans et peut-être même les raz-de-marée de cette zone sismiquement active, a été remplacée dans une large mesure par les *Diploria* (*D. strigosa* et *D. labyrinthiformis*), espèces massives, et par les Millépores. D'après Goreau la dominance d'*Acropora palmata* dans la masse totale du récif a été exagérée (Ginsburg, 1956) car cette espèce est localisée strictement aux quelques six mètres supérieurs de l'habitat récifal, par contre il estime que le constructeur essentiel dans toute la région caraïbe est *Montastrea annularis*.

— *La Barbade, Curacao, etc...* — Lewis (1960) et Roos (1964) reconnaissent une répartition des espèces comparable à celle de Goreau si on tient compte des différences existant entre les récifs de ces îles et ceux de la Jamaïque. Signalons aussi l'analogie des peuplements récifaux d'Abaco (Storr, 1964) et Porto Rico (Almy et Carrion-Torres, 1963). Dans certains cas (Bimini, Squires, 1958) les *Acropora* sont absents ou très peu développés.

— *Le cas particulier des Bermudes.* — Nous avons montré récemment (Laborel, 1966) la ressemblance qui existe entre les récifs des Bermudes et ceux du Brésil par suite de l'absence des *Acropora* dans ces deux régions. Aux Bermudes les *Acropora* sont remplacés, comme dans le cas cité par Goreau, par les *Diploria* et les *Millépores* alors que sur les côtes brésiliennes cette place serait tenue par la zone à *Mussismilia braziliensis* et *Mussismilia harttii*.

— *Conclusions.* — La zonation de la pente externe, au Brésil et dans les Caraïbes, est fondamentalement la même : les principales différences étant le remplacement, au Brésil de *Montastrea annularis* par *M. cavernosa*, espèce qui dans les Caraïbes occupe une place plus discrète dans les peuplements de la partie profonde; et la prépondérance dans les Caraïbes des *Acropora*, dont la grande vitesse de croissance et la bonne résistance à l'agitation exaspèrent en quelque sorte le relief de la partie supérieure de la pente externe. Chaque fois que des conditions écologiques ou géographiques adverses font disparaître les *Acropora;* la parenté entre les deux zonations apparaît nette. De la même façon on note quand les conditions (surtout la turbidité) sont défavorables, aussi bien aux Bermudes qu'à la Jamaïque et à la Barbade, que *Montastrea cavernosa* remplace *M. annularis*.

Comparaison avec les récifs indo-pacifiques.

Les peuplements de la pente externe sont plus mal connus que dans les Caraïbes, la raison en étant sans doute que l'attention des naturalistes a été longtemps tournée vers les platiers, plus accessibles et richement peuplés. On ne trouve d'étude de cette zone que dans les travaux récents et en particulier ceux de Pichon (1964) ; cet auteur définit sur la pente externe des récifs de Tuléar trois horizons superposés; le plus élevé à *Acropora pharaonis* et *Seriatoporidae* serait l'équivalent de l' « upper *palmata* zone » de Goreau, puis un horizon des formes en consoles et encroûtantes et enfin un très important horizon de formes massives à *Diploastrea, Lobophyllia,* dont le rôle constructeur serait prépondérant dans l'édification du récif.

On retiendra que dans les régions où la faune est riche et les conditions écologiques favorables, les horizons inférieurs et moyens de la pente externe sont peuplés de formes massives alors que les horizons supérieurs voient la prédominance des formes branchues; dans les régions où celles-ci n'existent pas pour des raisons zoogéographiques, ou ne peuvent se développer à cause des conditions écologiques défavorables, ce sont des formes massives appartenant à des espèces différentes de celles de l'horizon inférieur, ainsi que des Millépores qui assurent le relais et participent à l'édification de la partie supérieure de la pente externe.

C) L'ensemble epirecifal.

La crête.

Avec la crête et le palier nous entrons dans les régions du récif qui sont les plus difficiles à interpréter et à comparer entre elles; l'étendue et la hauteur d'un platier ainsi que la nature des peuplements qui s'y développent sont fonction d'un grand nombre de facteurs indépendants et variables d'une région à une autre; citons l'amplitude locale de la marée, le mode, la fréquence des ouragans, l'abondance des formes branchues sur la pente externe, enfin, l'histoire récente du récif et la stabilité du secteur de côte intéressé, car le jeu combiné des déformations tectoniques et des oscillations récentes glacioeustatiques du niveau marin a une importance primordiale. Une des conséquences les plus notables de cette variabilité est que la crête algale, ce trait physionomique si caractéristique de certains récifs du pacifique, possède une répartition irrégulière sur les récifs de l'Atlantique tropical (Kempf et Laborel, 1967) et que la richesse en Madréporaires des peuplements du platier et de la crête varie également dans des proportions considérables.

Le niveau du platier est plus élevé au Brésil que dans toute la région Caraïbe, ce qui fait que les formations d'Algues calcaires et de Vermets peuvent s'y développer alors qu'elles sont absentes sur tous les récifs caraïbes connus (Wells, 1957).

Dans la région du Nordeste (Recife) ainsi que dans celle de Bahia (Itaparica), la hauteur de la crête au-dessus des basses mers moyennes de grande vive eau est de l'ordre de 1,40 à 1,60 m., alors que l'amplitude totale de la marée pour ces deux régions est respectivement de 3,10 m et 3,60 m et la valeur du niveau moyen de 1,14 m et 1,21 m; dans les deux cas la partie supérieure de la crête algale est morte, érodée et couverte de *Tetraclita;* les parties vivantes, elles, se situent autour d'un mètre.

Ainsi que nous l'avons montré récemment (Kempf et Laborel, 1967) les formations à Vermets et Mélobésiées représentent un véritable niveau moyen biologique et leur partie supérieure morte pourrait être attribuée à une oscillation récente de l'ordre de 50 cm. Nous avons également établi la correspondance entre la crête des récifs brésiliens et les formations méditerranéennes à Vermets, du point de vue de la place dans l'étagement, à la limite entre l'étage infralittoral et l'étage médiolittoral; on ne peut donc s'attendre à trouver des peuplements coralliens développés sur cette partie du récif, sauf dans les flaques ou dans les cavités où règnent des conditions favorables à l'établissement d'un peuplement infralittoral.

Nous définirons la crête du récif brésilien comme la zone qui s'étend depuis les premiers peuplements de Millépores sur la pente externe jusqu'à la zone à Vermets et Mélobésiées comprises.

Le peuplement comprend un Zoanthaire *Palythoa* sp., et plusieurs espèces de *Zoanthus* de couleur bleue ou verte; les seuls Madréporaires à prospérer localement dans les crevasses et les petites flaques entre les têtes de Mélobésiées sont *Favia gravida,* dans sa forme méandroïde (mode battu) et *Siderastrea stellata*; les Algues molles sont abondantes et comprennent une ceinture de Sargasses et de denses peuplements de *Caulerpa racemosa* et d'*Halimeda.* Enfin on note une grande abondance de l'Echinide *Echinometra lucunter.* Ces peuplements ne s'installent pas uniquement sur le récif; ils présentent une parenté étroite avec ceux de mode battu sur roche (par exemple sur les granites du Cap Santo Agostinho) où sur la partie frontale des récifs de grès (voir la coupe de Suape). Vers le bas, les *Palythoa* peuvent descendre jusqu'à 3 ou 4 m de profondeur ainsi que les *Echinometra,* vers le haut, au contraire, le changement de faune est brutal dès qu'apparaissent les *Tetraclita* qui marquent le début de l'étage médiolittoral.

Quant aux Vermets, *Dendropoma (Novastoa)* cf. *irregulare* surtout, leur extension verticale est beaucoup plus réduite; la hauteur maximale sur laquelle ils se développent est de l'ordre du mètre, les Mélobésiées se développent, elles, sur une hauteur plus considérable.

Dans cette région coexistent donc un certain nombre d'éléments concrétionnants (Vermets et Mélobésiées) en même temps que d'importants agents d'érosion biologique (Cliones qui envahissent les Vermets morts, et *Echinometra*).

Enfin le peuplement des canaux et tunnels (de faible diamètre) qui se développent à l'intérieur des formations construites est à base de Foraminifères : *Homotrema rubrum, Carpenteria* sp.; d'Hydraires et des Anthozoaires *Telesto riisei* et *Astrangia braziliensis* avec l'Hydrocoralliaire *Stylaster duchassaingi;* ce peuplement rappelle tout à fait celui décrit par Vasseur (1964) des tunnels sous-récifaux de Tuléar, certaines espèces étant même identiques : *Homotrema rubrum* et *Stylaster duchassaingi* (= S. *eximius*) en particulier.

Comparaison avec la crête des récifs caraïbes.

Dans la majorité des cas ce que les auteurs (ex : Lewis, 1960) appellent « reef-crest » ne correspond pas à notre crête récifale mais au début de la pente externe. Les profondeurs minima sur le sommet du récif sont de l'ordre d'un mètre à basse mer et les Madréporaires toujours bien représentés. Les marées sont généralement faibles, de l'ordre du mètre au plus, et l'émersion du rebord du récif est un phénomène exceptionnel; l'explication de Wells (1957) selon laquelle il n'y aurait pas de crête algale à cause du niveau trop bas du platier apparaît donc valable. Cependant l'émersion des Madréporaires de la partie supérieure de la pente externe apparaît plus fréquente qu'au Brésil.

En l'absence de Vermets l'élément physionomique dominant est constitué par les Zoanthaires (*Zoanthus* et *Palythoa*) et le Madréporaire *Diploria clivosa* qui semble caractéristique. Almy et Carrion-Torres (1963) signalent aussi une grande abondance de *Porites porites* (bord externe du platier, Cayo Turrumote, Porto-Rico).

Cependant de belles formations à base de Vermets et Mélobésiées, non liées au récif mais se développant séparément sur d'autres substrats ont été signalées dans cette région; « boilers » des Bermudes (Stephenson et Stephenson, 1954) « récifs de *Lithophyllum* » des côtes de Porto-Rico (Howe, 1912) et formations de Vermets des côtes de Floride (Shier, 1965).

Comparaison avec la région indo-pacifique.

Des crêtes algales sont connues de nombreux récifs de la région pacifique; il est donc intéressant de les comparer avec celles des récifs brésiliens.

Si la faune corallienne est très pauvre au Brésil, au niveau de la crête algale, il n'en est pas de même dans la région indo-pacifique où de nombreux genres de Madréporaires (*Porites, Favia, Leptoria* et *Acropora* entre autres) se sont adaptés à ces conditions de milieu assez spéciales. Les Vermets y sont relativement moins importants que les Mélobésiées (surtout *Porolithon oncodes* qui se situerait, d'après Picard, à un niveau bionomique légèrement inférieur). Le développement de la crête est très variable, les plus beaux exemples se rencontrant sur les récifs au vent des îles Marshall (Tracey et al. 1948). A Tuléar (Pichon, 1964); Tutia (Talbot, 1965) et sur les récifs externes de la Grande Barrière (Yonge reef, Stephenson et al. 1931) il n'y aurait qu'un mince encroûtement de Mélobésiées avec de riches peuplements coralliens, il en est de même pour la plupart des récifs sous le vent. De toute façon la crête algale occupe un niveau bionomique situé nettement au-dessus de celui des peuplements denses de Madréporaires.

La crête algale des récifs brésiliens apparaît très comparable à celle des récifs indo-pacifiques bien que sur ces derniers il semble que les Mélobésiées puissent prendre directement le relais des coraux constructeurs sans intervention d'une oscillation négative du niveau marin comme c'est le cas au Brésil et, peut-être, dans les Caraïbes. Cette différence doit à notre avis être imputable à la pauvreté relative de la flore et de la faune caraïbes (et à fortiori brésiliennes) dans lesquelles le nombre d'organismes capables de coloniser la zone supérieure de l'étage infralittoral est sans doute beaucoup plus faible. Des formations de Vermets à vasques concentriques ont été photographiées dans les Iles Tonga (Marden 1968).

2) *Le platier.*

Le platier (reef flat) est bien représenté sur les récifs brésiliens, sauf sur ceux du groupe du Cap São Roque. Les peuplements en sont partout très pauvres et on peut y distinguer un certain nombre de zones en allant de la mer vers le rivage :

— La zone des « chausse-trapes », ou zone sèche dans laquelle il n'existe aucune flaque permanente à basse mer car sa surface communique avec la mer par l'intermédiaire de canaux nombreux. Cette surface, d'aspect désertique ne porte qu'un gazon algal ras et

de grandes plaques de *Palythoa;* dans les fissures, en communication avec l'eau libre se trouvent des Algues Chlorophycées (*Dictyosphaeria, Anadyomene*, etc...) Madréporaires et Hydrocoralliaires sont absents.

— Un platier moyen à flaques dues au colmatage biologique des canaux des « chausse-trapes » et à l'ensablement qui peut parfois donner une caye sableuse, le plus souvent submersible. Le peuplement des flaques est pauvre, à dominance de Phéophycées, les seuls Madréporaires étant *Siderastrea stellata* et *Favia gravida* (forme subcérioide), les mêmes espèces se retrouvent dans les chenaux avec en plus, souvent, *Agaricia agaricites, Porites branneri* et, très rarement, d'autres espèces photophiles. Les *Halimeda* sont extrêmement abondantes. C'est dans cette zone que se trouvent éventuellement les blocs détritiques.

Aux Abrolhos (Parcel das Paredes) la partie visitée de l'immense platier porte des pelotes de Mélobésiées libres dans les flaques et les pelouses d'*Halimeda.*

Une zone postérieure où les flaques sont nombreuses et souvent circulaires, à rebords annulaires de Mélobésiées : ce sont de véritables micro-atolls, le plus souvent morts; des formes analogues s'observent aussi chez les *Siderastrea;* cette zone est plus riche que la précédente, notamment en Spongiaires.

Comparaison avec la région Caraïbe.

— *Jamaïque.* — Ce que Goreau appelle « reef-flat » est une zone étroite, n'émergeant pas à basse mer (couverte d'une cinquantaine de centimètres d'eau) avec un peuplement clairsemé à *Zoanthus, Halimeda* et Mélobésiées, avec quelques *Diploria clivosa,* des *Gorgonia* et des Millépores. La largeur ne dépasse pas une quarantaine de mètres.

— *Porto Rico.* — Almy et Carrion-Torres décrivent, sur le Cayo Turrumote, un platier élevé à près de un mètre au-dessus des basses mers, mais il est formé de blocs roulés, sa partie moyenne est colonisée par quelques *Avicennia;* sur les récifs internes la mangrove est très développée et la partie postérieure du platier, très envasée, porte un herbier à *Thalassia.*

— *La Barbade.* — Les récifs y sont des récifs frangeants couverts de 30 cm à 1 m d'eau à basse mer et larges de 10 à 50 m (Lewis) ; les peuplements sont pauvres à Sargasses, *Dictyota* et *Padina,* le seul Madréporaire est *Siderastrea radians* avec en plus, sur la région la plus externe, quelques *Palythoa* et *Diploria clivosa;* ces platiers se comparent beaucoup plus favorablement à leurs

homologues brésiliens, malgré la faible exondation, ceci est vraisemblablement dû à la turbidité qui doit y régner à haute mer, les platiers étant directement au contact des sédiments de la plage.

— *Golfe du Mexique.* — Moore (1958) décrit le récif de Blanquilla, le plus septentrional du Golfe du Mexique occidental; il existe un véritable platier émergeant avec des peuplements pauvres et mal différenciés, une partie frontale en pente légère à *Echinometra* et une partie supérieure à *Diploria clivosa* et *Siderastrea siderea* (?).

Comparaison avec les récifs indo-pacifiques.

Sur de très nombreux récifs la topographie du platier émergeant est compliquée par la présence de la levée de blocs, inexistante sur les récifs brésiliens, qui permet de diviser le platier en deux zones; à Tuléar, Pichon décrit, en avant de la levée des peuplements à Algues et Spongiaires appauvris en Madréporaires, puis en arrière un « platier friable », à un peu moins d'un mètre au-dessus des basses mers, peuplé de Madréporaires disséminés et de petite taille. La partie postérieure du platier est une zone à micro-atolls de *Porites*. Enfin les herbiers récifaux occupent une place importante. Mise à part l'existence de la levée de blocs, le platier de Tuléar se compare assez bien ave ceux des côtes de Nordeste mais la hauteur du platier par rapport aux basses mers de grande vive eau y est bien plus faible ce qui expliquerait l'absence de crête algale en cette dernière localité.

Sur les récifs de Bikini, les platiers sont couverts à basse mer par 10 à 30 cm d'eau et portent des micro-atolls à *Acropora* et *Heliopora* sur leur partie postérieure. Wells (1954, p. 402) donne un tableau basé sur la compilation des travaux de Mayor, Gardiner et Wells dont il ressort que la présence d'une zone postérieure à micro-atolls (à base de *Porites*, *Heliopora*, etc...) est à peu près constante sur les récifs qui possèdent une crête algale. L'émersion à basse mer des peuplements coralliens des platiers semble être un phénomène fréquent, les colonies de Madréporaires pouvant rester à découvert, ce qui ne semble être le cas que d'une façon exceptionnelle dans les Indes Occidentales et jamais au Brésil; la raison en est sans doute l'existence d'espèces adaptées à ces conditions dans l'indo-pacifique alors que la niche écologique correspondante reste vide dans la faune corallienne atlantique beaucoup plus pauvre. Cependant, sur certains platiers pacifiques, les Madréporaires sont clairsemés ou absents. Seule une étude comparative détaillée (hauteur des platiers, caractéristiques de la marée) permettrait de résoudre le problème.

D) L'ensemble post-récifal.

1) *La zone postérieure du récif.*

Elle est généralement marquée par un tombant vertical de un à deux mètres, terminé par un surplomb accentué au niveau du sédiment. Les peuplements coralliens y sont riches, en particulier, le nombre d'individus au mètre carré y est souvent plus fort que sur la pente externe et le nombre d'espèces plus grand (c'est le cas sur de nombreux récifs du Nordeste); la richesse du peuplement dépend de la largeur et de l'envasement du chenal d'embarcation, lorsque celui-ci est ensablé les Madréporaires tendent à disparaître de la zone interne.

Une caractéristique intéressante de cette partie du récif est l'abondance de certaines espèces que l'on trouve à une profondeur supérieure sur la pente externe : c'est le cas de *Montastrea cavernosa* qui se trouve, sur les récifs du Nordeste, à une profondeur de quelques décimètres, exposé à une luminosité très forte (la couleur des polypiers et les caractéristiques des calices sont modifiés mais les parties abritées des colonies possèdent la couleur et la structure des échantillons profonds, il s'agit d'une simple morphose); il en est de même de *Millepora* sp. cf. *M. braziliensis* qui joue un rôle considérable dans la construction des pinacles d'arrière récif et des surplombs du tombant interne (en particulier sur les récifs de Tamandaré où plus de 50 % de la masse construite est à base de Millépores). Citons encore *Siderastrea stellata, Porites astreoides* et les *Mussismilia* (*M. braziliensis* dominant dans la région Bahia-Abrolhos et *M. harttii* le remplaçant sur les récifs du Nordeste).

On peut noter que la zonation verticale des espèces, là où le tombant dépasse quelques mètres, est moins nette que sur la pente externe (sauf sur les pinacles internes du Parcel dos Paredes qui représentent un cas extrême puisque leur morphologie et leur zonation sont proches de celles des pinacles externes, la faune en étant seulement plus pauvre; cela vient sans doute du fait que ce ne sont pas de véritables conditions de lagon qui règnent en arrière de ces récifs, très éloignés de la côte dont ils sont séparés par un chenal large et profond).

Nous avons parlé des surplombs du tombant interne; ce ne sont certainement pas des formes d'érosion, ils paraissent formés par une ou plusieurs colonies de très grande taille (souvent à base de *Mussismilia harttii* sur les récifs du Nordeste) qui se sont développées latéralement de façon inégale, la croissance maximale se faisant près de la surface alors que les parties les plus proches du fond sont freinées dans leur développement par le mouvement du sédi-

ment mis en suspension par les vagues à marée haute. De tels surplombs paraissent fréquents : Picard (com. pers.) nous en a signalé d'analogues sous les pinacles coralliens de la retenue épi-récifale du récif de Tuléar; nous en avons aussi décrit, en Méditerranée, au pied des tombants concrétionnés par les Mélobésiées dans le coralligène d'horizon inférieur de la roche littorale (Laborel, 1961). La fréquence et le grand développement horizontal de ces surplombs caractérisent l'arrière récif dans la région du Nordeste et permettent l'installation d'éléments nettement oligophotiques, tel *Scolymia wellsi* que nous avons signalé en abondance à Tamandaré et Porto de Galinhas, à une profondeur n'atteignant pas deux mètres, alors que cette espèce nous a paru absente des surplombs de la pente externe et des bancs coralliens de la région. La construction par les Madréporaires est forte sur la partie postérieure du récif et nous examinerons ultérieurement les conséquences de ce phénomène.

Comparaison avec la région Caraïbe.

Nous nous baserons essentiellement sur les travaux de Goreau (1959), de Storr (1964) et de Almy et Carrion-Torres (1963), les récifs étudiés par ces auteurs se trouvent en effet à une distance suffisante du rivage et possèdent un lagon ou un chenal d'embarcation alors que les récifs de la Barbade (Lewis 1960) sont frangeants et que les côtes de Curaçao (Roos 1964) ne semblent pas porter de récifs différenciés, la seule zone correspondant à l'arrière récif se trouvant à l'intérieur des baies protégées et devant constituer un cas particulier.

A la Jamaïque et à Porto Rico, Goreau et Almy et Carrion-Torres insistent sur la richesse des peuplements de la partie postérieure du récif et sur le manque de zonation apparente par rapport à la pente externe et à la région des contreforts; l'analyse des tableaux de répartition dus à ces auteurs montre une raréfaction d'*Acropora palmata* et des *Acropora* en général, remplacés par des formes massives (*Diploria*) ; de plus un certain nombre d'espèces, présentes en profondeur sur la pente externe, se trouvent très près de la surface en arrière du récif; c'est ainsi que l'observation que nous avons faite au Brésil de la remontée à faible profondeur de *Montastrea cavernosa* est également valable pour cette région, il en est de même pour *M. annularis*. Les surplombs semblent être bien développés et portent des espèces sciaphiles en particulier *Mycetophyllia lamarckiana* et *Agaricia cucullata*. Les Millépores sont très abondants et jouent un rôle constructeur beaucoup plus net que sur la pente externe où ils sont concurrencés par les *Acropora*.

Nous manquons de données en ce qui concerne les peuplements comparables de la région indo-pacifique ou plus extactement en ce qui concerne les différences entre peuplements de la pente externe et de la pente interne; Pichon (1964) signale la présence, sur la pente interne du récif de Tuléar d'une ceinture à *Acropora* et l'abondance des Millépores et des *Porites* ainsi qu'un assez riche peuplement de formes massives et branchues sans zonation très nette.

2) *Les herbiers récifaux.*

Il y a très peu à dire sur ce type de peuplements surtout répandu dans la région des Abrolhos (partie postérieure du récif de Lixa); ils n'émergent généralement pas et rien dans leur faune ne les distingue des herbiers établis sur substrat meuble (passe de Siriba par exemple); les rares Madréporaires sont essentiellement *Meandrina braziliensis* et parfois *Mussismilia harttii* et *Favia gravida* avec quelques Gorgonaires (*Pseudopterogorgia*); ces espèces ne se trouvent dans l'herbier que dans la région Bahia-Abrolhos, *Siderastrea stellata* est le seul Madréporaire que l'on puisse trouver, d'ailleurs rarement, dans ce biotope au Nord du São Francisco. Cette pauvreté de la faune corallienne va de pair avec celle des Phanérogames marines (Laborel-Deguen, 1964) les genres *Thalassia*, *Cymodocea* et *Syringodium* étant absents des côtes brésiliennes.

Si nous comparons avec la région caraïbe et Tuléar, la pauvreté des herbiers récifaux brésiliens est encore plus frappante. La seule espèce qui soit véritablement adaptée à ce biotope est *Meandrina braziliensis* qui, d'ailleurs n'en est pas exclusive.

E) Ensemble frontolittoral.

(Les peuplements coralliens littoraux superficiels)

Ces peuplements ne nous paraissent pas avoir une individualité propre et se rapprochent à la fois de ceux de la crête algale et du platier, seules les espèces les plus tolérantes (*Siderastrea, Favia gravida* et *Millepora alcicornis*) sont capables de se développer sur substrat rocheux à faible profondeur en mode battu (morphose encroûtante pour *Millepora* et méandroide pour *Favia*); il s'agit aussi d'un faciès d'appauvrissement qui ne paraît pas présenter un grand intérêt théorique. En mode calme, il y a concurrence entre les Madréporaires et les Algues non calcifiées infralittorales, le peuplement étant, là aussi, appauvri. La mangrove, pourtant bien

représentée sur les côtes brésiliennes, n'est associée nulle part à des peuplements de Madréporaires; elle se localise en effet en eaux beaucoup trop dessalées et turbides, parfois même polluées.

Conclusions.

La comparaison de nombreux récifs de régions différentes entre eux fait apparaître des divergences et des analogies intéressantes que l'on peut résumer ainsi :

a) Les peuplements coralliens des ensembles prélittoral et frontorécifal paraissent se présenter de façon homogène quelle que soit la région considérée : malgré des différences dans la richesse de la faune et sa composition, on distingue presque toujours, de bas en haut, des peuplements circalittoraux à Mélobésiées et Madréporaires hermatypiques euryphotiques ou adaptés au faible éclairement de cet étage; cette zone est suivie vers le haut d'une région où dominent les espèces les plus photophiles; suivant les localités il y a passage progressif de l'une à l'autre ou, au contraire (cas du Brésil), séparation par une bande plus ou moins large de fonds meubles qui peuvent être analogues au détritique côtier méditerranéen ou aux fonds de Mélobésiées libres.

A l'intérieur de l'ensemble frontorécifal on remarque plusieurs zones altitudinales montrant une succession nette d'espèces constructrices dominantes.

La zone supérieure est généralement à base de formes branchues et partout où le genre *Acropora* est présent c'est une ou plusieurs des espèces de ce genre qui y dominent.

L'ensemble frontorécifal correspond partout à l'étage infralittoral; c'est la région la plus riche, celle où la croissance verticale du récif est maximum.

b) Les peuplements coralliens de l'ensemble postrécifal apparaissent, eux aussi, très proches les uns des autres; la zonation y est moins bien marquée que dans l'ensemble frontorécifal mais le fond faunistique apparaît le même.

c) C'est dans l'ensemble épirécifal que la comparaison entre les différents récifs est la plus difficile : chaque région et même chaque récif montre des différences considérables, présence ou absence de crête algale, de levée de blocs, platier plus ou moins élevé, etc... Les peuplements coralliens en sont presque toujours appauvris et parfois complètement absents; ils ne se développent que lorsqu'une retenue d'eau (flaques, chenaux ou dépression), permet la réalisation de conditions favorables à leur maintien.

	PEUPLEMENTS RECIFAUX (Abrolhos)											PEMTS SUBRECIFAUX (Ceará-Cabo Frio)			
	Arrière-récif				platier			pente externe				fonds meubles ou concrétionnés			
	herbiers récifaux	surfaces horizont.	surfaces verticales	surplombs	flaques	platier émergeant	crête algale	zone à Millepora	zone à Mussismilia	zone à Montastrea	surplombs	0-40 m	40-60 m	60-90 m	plus de 90 m
SCLERACTINIA															
Stephanocoenia mich.	AC	AC	R	←	—	—	—	—	AC	—	—	R	AC	AR	—
Madracis decactis	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	R	C	AC	▨	C	R
M. asperula	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	▨	AC
M. scotiae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	▨	AC
M. pharensis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	?	R	?
Agaricia agaricites	R	C	▨	C	R	—	—	R	C	AC	R	—	—	—	—
A. fragilis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	—	C	▨	AC
Siderastrea stellata	C	C	C	R	C	AR	AR	AR	C	C	—	AC	AC	R	—
Porites branneri	C	C	AC	R	R	—	—	R	C	AC	R	AC	AC	R	—
P. astreoides	AR	C	R	—	R	R	—	—	C	AC	—	—	—	—	—
Favia gravida	C	C	AC	R	▨	R	AC	▨	C	R	—	—	—	—	—
Favia leptophylla	R	AC	R	—	—	—	—	—	C	R	—	—	—	—	—
Montastrea cavernosa	AC	▨	▨	C	R	—	—	—	C	▨	C	AC	C	C	R
Astrangia braziliensis	—	—	—	AC	—	—	—	—	—	—	C	—	R	—	—
Phyllangia americana	R	—	—	R	—	—	—	—	—	—	R	—	—	—	—
Meandrina braziliensis	▨	C	AC	—	—	—	—	—	C	C	—	▨	C	AR	—
Mussismilia harttii	C	C	AC	R	—	—	—	—	C	C	AC	AC	AC	R	—
M. hispida	AC	C	AC	AR	—	—	—	—	C	C	AR	AC	AC	R	—
M. braziliensis	AC	▨	AC	—	R	—	—	—	▨	R	—	—	—	—	—
Scolymia wellsii	—	—	R	C	—	—	—	—	—	AC	▨	AR	C	AR	—
Daryophyllia maculata	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	C	R
Deltocyathus italicus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC	C
Paracyathus sp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C	C	—
Sphenotrochus auritus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C	AR	—	—
Dasmosmilia lymani	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC
Solenosmilia variabilis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AC
Stenocyathus vermiformis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	R
MILLEPORINA															
Millepora alcicornis	C	▨	AR	—	R	—	R	▨	C	R	—	R	AR	—	—
M. nitida	AC	C	AR	R	—	—	—	AR	AC	R	—	—	—	—	—
M. cf braziliensis	R	▨	C	AR	—	—	—	AC	C	AC	R	—	AR	—	—
STYLASTERINA															
Stylaster duchassaingi	—	—	—	C	—	—	—	—	—	—	C	—	—	—	?
ZOANTHARIA															
Palythoa sp	C	C	—	—	C	C	▨	▨	AC	—	—	—	—	—	—
Zoanthus spp	AC	C	R	—	▨	▨	▨	C	R	—	—	—	—	—	—
STOLONIFERA															
Telesto riisei	AR	—	AR	C	—	—	—	—	—	—	AC	—	—	—	—
HOLAXONIA															
Phyllogorgia dilatata	C	▨	R	—	R	—	—	AC	▨	AR	—	C	R	—	—
Muriceopsis sulphurea	C	▨	R	—	AC	—	—	R	▨	AR	—	?	—	—	—
Pseudopterogorgia sp	▨	▨	AC	—	—	—	—	—	▨	AR	—	—	AC ?	—	—
Plexaurella dichotoma	▨	▨	R	—	AC	—	—	AC	▨	AR	—	C	AC ?	—	—
P. grandiflora	C	▨	R	—	—	—	—	AC	▨	—	—	—	—	—	—
P. pumila	C	▨	R	—	—	—	—	?	▨	—	—	?	—	—	—

. Notation subjective.
▨ très abondant ; – absent

Fig. 64

Nous donnons un tableau permettant de comparer les schémas donnés par les principaux auteurs cités dans ce chapitre : Goreau, Lewis et Pichon avec nos observations brésiliennes et le schéma de Picard. On pourra voir ainsi que les termes employés par les auteurs manquent assez souvent de précision et qu'il est urgent de les standardiser. C'est pour cette raison que nous avons adopté le schéma de Picard; bien que celui-ci ait été initialement conçu pour la région indo-pacifique, il apparaît le mieux adapté à une comparaison des récifs à l'échelle mondiale (*fig.* 65).

Le tableau (*fig.* 64) récapitule la répartition des diverses espèces citées sur les récifs brésiliens en prenant pour exemple la région des Abrolhos.

Sous-chapitre 2. — *Considérations sur l'écologie des Madréporaires récifaux*

Dans la partie systématique de ce travail nous donnons, espèce par espèce, des renseignements sur les morphoses et sur la répartition verticale et horizontale des Madréporaires; nous ne reprendrons pas ici cette étude mais nous chercherons à établir un certain nombre de corrélations entre les préférences écologiques des différentes espèces et la physionomie des peuplements, en particulier en ce qui concerne la réponse de ceux-ci aux modifications des facteurs abiotiques autres que la luminosité.

JAMAIQUE GOREAU (1959)	BACK REEF	← REEF CREST →							SEAWARD SLOPE			
	Lagoon	Rear zone	Reef flat (Zoanthus zone)	Palmata zone				Buttress zone	cervicornis zone		annularis zone	
				upper		lower						
LA BARBADE LEWIS (1960)			Reef flat (Palythoa)	Diploria clivosa + Palythoa		Reef crest			SEAWARD SLOPE		REEF FRONT	
TULEAR PICHON (1964)	RÉCIF INTERNE →				← RÉCIF EXTERNE							
	Lagon à pinacles	pente interne	herbiers récifaux	Platier friable à Microatolls		Levée de blocs		Platier externe	PENTE EXTERNE (3 horizons)			
									Acropora	formes encroutantes	formes massives	
BRESIL	ARRIERE-RECIF		PLATIER			CRETE ALGALE			PENTE EXTERNE			
	Lagon ou chenal à pinacles	Tombant interne (Surplomb)	postérieur à Mélobésiées (Microatolls)	antérieur "chaussetrapes" Palythoa		morte érodée	active à Dendrophyllia et Mélobésiées		zone à Millepora	zone à Mussismilia		zone à Montastrea
SCHEMA PROPOSÉ PICARD (1967)	ENSEMBLE POSTRECIFAL		ENSEMBLE EPIRECIFAL						ENSEMBLE FRONTORECIFAL			

Fig. 65

Tout d'abord, la présence de certaines espèces ou leur dominance dans le peuplement peuvent servir d'identification sur les conditions écologiques du milieu. Le meilleur exemple est celui de trois espèces caractéristiques d'eaux claires qui sont par ordre d'exigence : l'Echinide *Diadema antillarum*, le Gorgonaire *Phyllogorgia dilatata* et le Madréporaire *Scolymia wellsi*, ce dernier exigeant, de plus, un faible hydrodynamisme; ces trois espèces sont extrêmement mal représentées sur les récifs du Nordeste alors qu'on trouve *Diadema* en abondance sur certains fonds à *Meandrina* de la plateforme, sur les côtes de Fernando de Noronha et, dans une faible mesure, sur les récifs de la région de Maceiò. De la même façon, *Scolymia* se trouve sur les surplombs de la partie postérieure du récif à partir de Porto de Galinhas vers le Sud, c'est-à-dire dans une région où les eaux sont beaucoup plus claires que dans celle de Recife (d'où *Scolymia* est absent). Quant aux *Phyllogorgia* elles semblent liées aussi bien à la clarté de l'eau qu'à l'hydrodynamisme, ce qui expliquerait peut-être les immenses prairies de Gorgonaires des îles et bancs rocheux au large de la côte d'Espiritu Santo (Tres Ilhas) : peut-être aussi doit-on faire des faciès à *Phyllogorgia* des faciès de courant.

En sens inverse, une turbidité importante se reconnaît, en plus de l'appauvrissement généralisé de la faune, à la prédominance de *Siderastrea stellata* (et, à un degré moindre, des *Porites*) avec abondance de *Telesto riisei*.

Certaines parties de l'ensemble post-récifal sont caractérisées par un échauffement considérable des eaux à marée basse pouvant atteindre 34° pendant plusieurs heures; associé à un hydrodynamisme particulièrement faible, on y trouve des faciès à Zoanthaires, *Favia gravida* et *Agaricia agaricites*. L'accent doit être mis tout particulièrement sur le développement de cette dernière espèce en milieu surchauffé (plus de 27°) ; le plus bel exemple étant fourni par les « piscines » de l'arrière récif de Maceiò.

Les faciès d'eau froide sont plus difficiles à définir, puisqu'on ne les trouve que dans l'extrême Sud de la région étudiée et que d'autres facteurs peuvent également y intervenir; cependant, il nous paraît que la grande abondance des colonies de *Mussismilia hispida* pourrait constituer une indication valable, comme c'est le cas dans la région d'Ilha Grande; il est à noter que les denses peuplements de cette espèce dans la région de Fernando de Noronha pourraient peut-être être liés à de légères remontées d'eau profonde le long des côtes de cet archipel et dans les eaux avoisinantes (Okuda, 1960). *Siderastrea*, contrairement à une opinion assez répandue paraît être plutôt sensible au refroidissement des eaux

comme en témoigne sa disparition au Sud de Cabo Frio. De même, la présence d'*Agaricia fragilis* sous les surplombs de la partie externe des récifs des Abrolhos pourrait peut-être indiquer un léger rafraîchissement des eaux. La répartition de *Madracis decactis* sur les fonds de la plate-forme et sa remontée à faible profondeur à Fernando de Noronha, aux Abrolhos et à Ilha Grande pourrait avoir également la même signification.

Enfin, en ce qui concerne les faciès très battus à faible profondeur, les deux formes les plus caractéristiques sont les encroûtements « en peinture » de *Millepora alcicornis* (et, bien plus rarement, de *M.* cf. *braziliensis*) et la morphose méandroïde de *Favia gravida*.

Concurrence interspécifique.

L'étude comparée des peuplements coralliens des différentes régions, permet de mettre en évidence des similitudes entre le rôle de certaines espèces dans le peuplement et de constater des remplacements interprétables comme le résultat d'une véritable concurrence. Cette notion était connue depuis longtemps : Gravier (1910) en donnait un certain nombre d'exemples mais il s'agissait là de concurrence directe, de recouvrement actif d'une forme par une autre, les espèces encroûtantes étant au dire de cet auteur avantagées par rapport aux formes rameuses et surtout massives; nous nous intéresserons plutôt à des phénomènes de concurrence indirecte une espèce se développant à la place d'une autre sans contact effectif entre les deux. Il peut s'agir, par exemple, de deux espèces qui possèdent la même niche écologique, c'est-à-dire qui jouent le même rôle à l'intérieur du peuplement.

Il peut sembler difficile, à première vue, de définir des niches écologiques à l'intérieur d'une communauté aussi mal connue que la communauté récifale, où les interactions entre organismes sessiles n'ont pas encore fait l'objet d'études suffisamment poussées, mais nous pourrons en distinguer cependant un certain nombre (pour les Madréporaires seulement). Ce seront les niches « constructeurs primaires » et « constructeurs secondaires » (qui cimentent les intervalles laissés entre les premiers et ajoutent une masse assez considérable à la charpente du récif). Une même espèce peut occuper suivant la localité et les conditions écologiques l'une ou l'autre de ces niches. Il existe aussi des espèces dont la niche est difficile à identifier par suite de notre ignorance de leurs interactions avec leur entourage mais chez lesquelles on peut noter une adaptation morphologique et biologique très nette à leur habitat;

des espèces appartenant à des familles différentes peuvent, dans des régions éloignées, présenter les mêmes adaptations et le même habitat, c'est le phénomène bien connu de vicariance; le meilleur exemple en est donné par les formes libres qui vivent simplement posées sur le sédiment des herbiers ou des fonds détritiques, avec un mode de vie qui rappelle donc celui de nombreuses espèces ahermatypiques.

a) *Concurrence chez les constructeurs primaires.*

On peut les subdiviser d'abord par leur place dans la zonation puis par leur forme. Nous avons vu au cours des paragraphes précédents que, sur les côtes du Brésil comme dans les Caraïbes et dans l'Indo-Pacifique, un nombre assez restreint d'espèces constituait un pourcentage considérable de la masse construite. Dans les Caraïbes le constructeur principal est *Montastrea annularis* sur la partie externe du récif; au Brésil ce rôle est joué par *Montastrea cavernosa;* nous avons signalé dans la partie systématique de ce travail la concurrence qui existe entre ces deux espèces aux Bermudes (Laborel, 1966), à la Barbade (Lewis, 1960) et la Jamaïque (Goreau, 1959). Partout où les conditions sont favorables (eaux claires bien renouvelées et illumination suffisante) *Montastrea annularis* est de loin le plus important alors qu'il disparaît de certains secteurs de côtes (côtes Sud des Bermudes, récifs au vent de la Barbade) où il est éclipsé par l'autre espèce qui joue à ce moment-là, et seulement alors, un rôle constructeur très important et donne exactement les mêmes édifices « en draperies » que l'espèce précédente; de même Roos (1964) signale que *M. cavernosa* remplace au-delà de 35-40 m *M. annularis.* Un cas analogue est celui de la répartition *Diploria-Acropora palmata* dans les Caraïbes; on peut aussi citer la concurrence entre *Mussismilia braziliensis* et *M. harttii* et entre cette dernière espèce et *Siderastrea stellata* (Tableau, *fig.* 66).

Or dans aucun de ces trois cas, particulièrement nets et indiscutables, on n'observe une élimination mécanique d'une espèce par une autre, les cas de recouvrement et d' « étouffement » n'apparaissent pas communs. Le cas le plus net est celui des *Mussismilia;* aux Abrolhos (Parcel das Paredes), en mode assez calme, rien ne paraît s'opposer à la croissance de très gros « bouquets » de *M. harttii,* pourtant ceux-ci ne dépassent guère une trentaine de centimètres de diamètre, les colonies sont cependant très nombreuses et florissantes mais elles semblent complètement inhibées par les énormes têtes de *M. braziliensis.* Dans ce cas particulier on

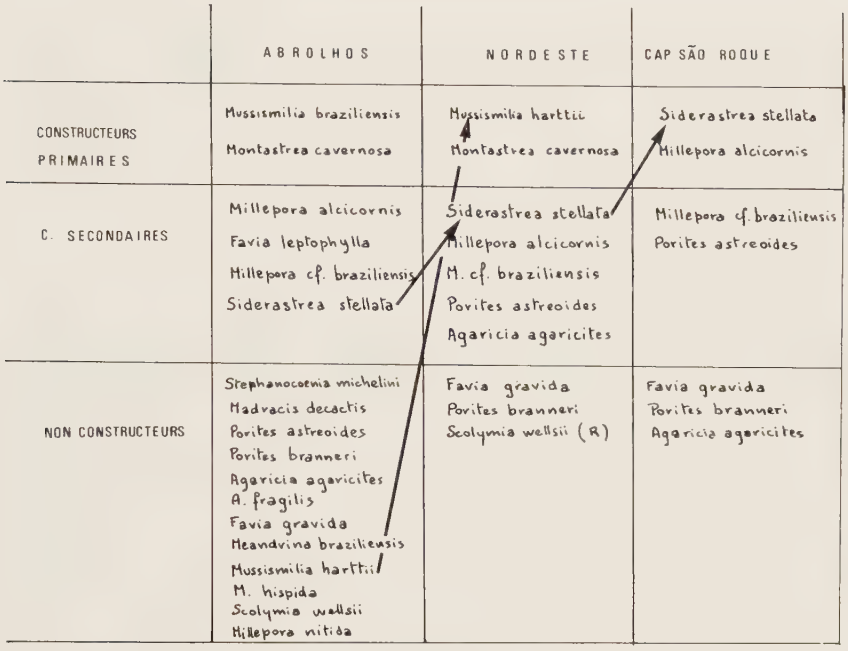


FIGURE 66

pourrait incriminer la faible capacité de *M. harttii* à occuper le terrain alors que son concurrent forme des hémisphères solidement accrochées au substrat par une large base scirculaire. Chez *M. harttii* (et également chez *M. hispida* bien qu'à un degré moindre) l'angle formé par les axes des calices est rarement supérieur à 90° alors qu'il est de 180° chez *M. braziliensis* assurant à la fois une fiixation meilleure et une occupation du substrat comparable à celle d'uneespèce encroûtante pendant les premiers stades de la vie du polypier; de même la vitesse de division des polypes est beaucoup plus forte chez cette dernière espèce, à calices petits et à calcification assez faible.

En règle générale, il semble qu'il existe en Atlantique tropical un certain nombre d'espèces à la fois exigeantes et sensibles aux variations des facteurs abiotiques qui sont capables en conditions optimales de prendre une extension considérable alors qu'elles sont remplacées par des espèces plus tolérantes lorsque les conditions de milieu se détériorent.

On peut établir un certain nombre de séries de remplacement :

— Partie supérieure de la pente externe

Caraïbes :

Acropora palmata → *Diploria labyrinthyformis* + *D. strigosa*

Brésil :

Mussismilia braziliensis → *M. harttii* → *Siderastrea stellata*

Partie moyenne de la pente externe

Caraïbes :

Montastrea annularis → *Montastrea cavernosa*

En fait les limites verticales des espèces exigeantes étant généralement plus étroites que celles des espèces tolérants, les peuplements de la pente externe tendent à être envahis par ces dernières avec perte progressive de la zonation; on tend ainsi vers des peuplements mono-spécifiques dont les plus beaux sont ceux de la région de Cap São Roque à *Siderastrea*.

On notera que c'est sur la pente externe que ces phénomènes de remplacement sont les plus nets, les peuplements de la partie interne du récif, en mode plus calme et eaux plus chaudes et plus turbides ne possèdent très souvent pas le premier stade.

b) *Phénomènes de remplacement et de vicariance chez les espèces libres des substrats meubles.*

On notera trois types principaux de formes libres :

— *Des formes en boule,* roulant librement sur le substrat; l'adaptation est ici une très grande tolérance des polypes au contact prolongé avec le sédiment. C'est le cas de *Siderastrea radians* et de son homologue brésilien *S. stellata,* espèces vicariantes. On trouve ces formes libres généralement sur les fonds plus ou moins envasés des chenaux d'embarcation, dans certaines passes et dans les herbiers.

— *Des formes phacéloides* formant des buissons de branches assez lâches; c'est le cas de *Cladocora arbuscula* (Les.) (qui ne doit pas être confondu avec les espèces ahermatypiques de ce genre) et de son correspondant écologique exact en Méditerranée *Cladocora cespitosa* L. (qui arrive à former de véritables bancs coralliens dans le Golfe de Talante). [Laborel, 1961 b]. Au Brésil, où l'on ne trouve aucune espèce hermatypique de *Cladocora* (*C. patriarca* Pourtalès est ahermatypique et bien différent de *C. arbuscula* malgré l'opinion de L. Rossi (1961); ces formes sont représentées par une morphose particulièrement grêle et étirée en longueur de *Mussismilia harttii.*

— *Des formes en « barquette »*. Dans les Caraïbes on a deux formes de ce type : *Manicina areolata* (L) qui caractérise les fonds meubles à faible profondeur et *Meandrina* sp. (vraisemblablement la forme libre de *M. meandrites* (L.) appelée par Goreau *M. braziliensis* mais qui semble bien en être différente, voir partie systématique) qui se localise uniquement sur les substrats meubles à partir de 20-30 m alors que sa forme fixée se trouve également à faible profondeur. Il est intéressant de noter que la morphologie et le mode de croissance et de division de ces deux espèces sont identiques; toutes deux sont fixées à l'état jeune et peuvent le rester (forme *Manicina mayori* Wells et *Meandrina meandrites* typique) ou, au contraire, mener une vie libre à la façon des *Fungiidae* indo-pacifique (Yonge, 1935). Cependant il semble que leurs formes libres s'excluent mutuellement puisque tous les auteurs citent *Manicina* des herbiers à *Thalassia* sans que jamais l'on ait observé de *Meandrina* libres dans le même biotope.

Au Brésil, par contre, d'où le genre *Manicina* est absent, c'est *Meandrina braziliensis* qui se rencontre dans les deux types de stations; la ressemblance est tellement complète que nous avons pu voir des morphoses de cette espèce qui rappellent exactement par leur morphologie et le type de milieu dans lequel on les trouve les diverses « variétés » de *Manicina areolata* décrites par Verrill. Il est donc vraisemblable que l'espèce la mieux adaptée est *Manicina areolata* mais que les *Meandrina* sont plus tolérants. Enfin le phénomène de retournement du polypier en cas de renversement accidentel s'observe chez *Meandrina braziliensis* comme chez *Manicina*.

Indications pour une future étude biocénotique.

Il est évident que nous ne pouvons nous livrer qu'à des considérations très générales; notre étude s'est limitée aux Madréporaires et aux Gorgonaires et à quelques formes particulièrement visibles ou aisément déterminables. Malgré la grande pauvreté apparente des peuplements récifaux brésiliens il est certain qu'une étude faunistique exhaustive porterait sur des centaines d'espèces et il en est de même d'une éventuelle étude floristique. Il suffit pour cela de récoltes suffisamment étendues. Il est vraisemblable qu'un tel inventaire demandera de nombreuses années puisqu'un nombre important de groupes n'ont fait l'objet d'aucun travail d'ensemble et que l'existence possible d'endémiques exige un long travail de comparaison avec la faune et la flore des régions voisines (en particulier Caraïbes, Ouest africaine et méditerranéenne).

Si nous nous en tenons, ce qui semble raisonnable, aux seuls peuplements de substrat dur liés aux récifs, nous pouvons malgré tout apporter un certain nombre de précisions.

Il apparaît que l'on peut séparer de haut en bas trois peuplements.

— *Le peuplement de la crête algale :* à Mélobésiées et Vermets qui correspond vraisemblablement à un groupement permanent ou à un faciès latéral.

— *Un peuplement corallien infralittoral* dans lequel il semble bien qu'il faille classer à la fois les peuplements de l'ensemble postrécifal et ceux de l'ensembe prérécifal. Les gradations entre ces deux types sont en effet progressives, les espèces se répartissent en fonction de leur écologie propre sans que l'on puisse définir des caractéristiques de l'un ou de l'autre type de milieu; d'autre part, comme nous le verrons en étudiant la croissance du récif, il y a origine commune entre les peuplements prérécifaux et postrécifaux, ce qui paraît supposer un stock d'espèces communes. Les différentes zones que l'on observe sur la pente externe ne constituent probablement que des faciès dus à la prépondérance locale d'une ou plusieurs espèces. Ce peuplement correspond à l'étage infralittoral et il convient d'en exclure les enclaves que représentent les peuplements des surplombs et des grottes.

Il sera extrêmement intéressant d'étudier la fraction algale de ce peuplement car elle pose le problème suivant : y a-t-il en région tropicale une « biocénose des algues photophiles » distincte de la « biocénose corallienne » et qui entrerait en compétition avec celle-ci (ou se superposerait à elle) ou alors y a-t-il une grande biocénose algo-corallienne photophile?

Il est encore impossible d'incliner dans un sens ou dans l'autre mais nous avons pu constater que les peuplements coralliens des régions riches étaient en général accompagnés d'une flore assez pauvre alors que dans la région du Nordeste l'appauvrissement de la faune de Madréporaires s'accompagnait d'une occupation des surfaces par les Algues molles notamment les Caulerpes et les Phéophycées (*Padina, Dictyopteris, Zonaria* en particulier) de plus en plus importante. De même dans les régions (Fernando de Noronha ou Itapoà) où l'agitation des eaux (entre autres facteurs) interdisait le développement d'un concrétionnement corallien, les peuplements végétaux étaient bien développés. Du point de vue de la dynamique du peuplement il est très probable que les formations coralliennes infralittorales représentent un climax auquel on arrive

par une série de stades (encore très mal connus) à partir d'un substrat initial meuble ou dur suivant les cas.

— *Un peuplement circalittoral* à Madréporaires et Mélobésiées avec dominance très nette de ces dernières, les Madréporaires se divisant en espèces euryphotiques et en espèces adaptées à une lumière très affaiblie; ce peuplement se retrouve en enclave sous les surplombs de l'ensemble frontorécifal et correspond à l'ensemble prélittoral de Picard. Le pouvoir concrétionnant est entièrement l'apanage des Mélobésiées. Nous assimilons provisoirement ce peuplement au « coralligène de plateau » méditerranéen. Les travaux en cours de Marc Kempf établiront sans doute les rapports qui existent entre ce type de fonds et les autres peuplements circalittoraux de fond meuble. Il sera alors intéressant de les comparer avec leurs homologues de Méditerranée.

On remarquera que nous n'avons pas parlé des peuplements des platiers; il paraît vraisemblable qu'il ne s'agit là que de faciès d'appauvrissement du peuplement corallien infralittoral, tout au moins sur les côtes brésiliennes et caraïbes. Il n'est pas impossible que dans la région indo-pacifique un nombre suffisant d'espèces aient pu s'adapter à ces conditions spéciales pour former des unités de peuplement distinctes.

CHAPITRE III

ÉDIFICATION ET ÉVOLUTION DES FORMATIONS CORALLIENNES

Dans ce chapitre, à partir des observations énoncées dans la première partie de ce travail nous allons essayer de dégager les lois qui régissent, sur les côtes du Brésil, l'installation et l'évolution des concrétionnements coralliens. Nous étudierons d'abord l'aspect biologique de ce problème, l'aspect géologique devant être traité au chapitre suivant.

Nous distinguerons, dans la « vie » d'un récif, trois phases principales qui sont : l'installation sur substrat vierge, l'évolution du banc corallien jusqu'au voisinage de la surface, puis, après une « crise » ou mieux un « accident » qui est l'émersion (et nous verrons que cette notion en apparence simple a besoin d'être précisée), une troisième phase qui est l'évolution du récif au maximum de sa complexité.

Nous essaierons, chaque fois que cela est possible, de faire le départ entre les conclusions qui s'appliquent seulement au cas particulier des récifs brésiliens et celles qui nous paraissent générales.

Enfin nous conclurons par une vue d'ensemble sur la vitalité actuelle des peuplements récifaux brésiliens comparée à celle des récifs mondiaux.

Sous-chapitre 1. *Installation et croissance verticale*

1) *Observe-t-on actuellement l'installation de « futurs récifs » ?*

Nous avons observé en maints endroits des côtes brésiliennes des peuplements coralliens installés directement sur la roche et dans lesquels les colonies de Madréporaires ne couvraient qu'une faible surface et ne se recouvraient pas les unes les autres (par exemple le littoral rocheux de Fernando de Noronha, d'Itapoà ou de Cabo Frio). Devons-nous en déduire qu'il s'agit là (et la densité des colonies parfois très grande pourrait le laisser entendre) d'un

début de concrétionnement dont l'évolution aboutira ultérieurement à un récif ? Dans ces différentes stations les conditions de température, clarté des eaux et mode ne semblent pas *à priori* s'opposer à une telle conclusion. Nous devons cependant faire un certain nombre de restrictions : tout d'abord, même si la croissance corallienne est relativement lente, dans les localités où nous observons de tels peuplements, les conditions de profondeur, température, etc...n'ont guère dû varier depuis quelques milliers d'années. S'il s'agit de « récifs débutants » situés à une dizaine de mètres de profondeur (lignes profondes de Pitimbu par exemple) le temps depuis lequel ils ont pu évoluer dans des conditions analogues aux actuelles devient de l'ordre de 6 à 8 000 ans au moins. Il suffirait donc d'une très faible vitesse de croissance pour que le développement du concrétionnement soit actuellement assez avancé. Si même ce développement était cyclique, le massif corallien se développant jusqu'à un certain stade puis régressant (pour quelque raison que ce soit) il en subsisterait des témoins car la destruction des Madréporaires morts paraît être aussi un phénomène assez lent.

Il est donc probable pour ne pas dire certain que ce qui nous paraît actuellement être un stade d'installation d'un récif sur substrat dur est en réalité bloqué à ce stade par l'existence de facteurs défavorables biologiques ou abiotiques.

Nous donnerons plusieurs exemples :

— *Fernando de Noronha.* Nous avons vu que, sur les côtes rocheuses de cet archipel, très battues, existent entre 5 et 15 m de denses peuplements de *Mussismilia* et de *Porites* dont l'activité constructrice est nulle parce que chaque colonie à sa mort ne reste pas fixée au substrat mais se détache et est détruite; les causes de ce bilan négatif sont à chercher dans le manque d'adhérence au substrat, celui-ci étant lié sans doute aux conditions hydrodynamiques qui restreignent la calcification des Polypiers (formes légères à éléments du squelette peu épaissis) aux mauvaises caractéristiques de la roche volcanique polie en ce qui concerne la fixation des espèces calcaires et peut-être au manque d'espèces suffisamment adaptées à ces conditions particulières.

— *Itapoà (Bahia).* Rapelle le type précédent mais la densité des colonies est plus faible bien que les *Mussismilia braziliensis* atteignent une taille importante. Nous sommes pourtant là en plein cœur de la région corallienne brésilienne, les eaux sont claires et chaudes, très battues cependant. Il y a donc là un champ d'études intéressant puisque dans l'intérieur de la Baie de tous les Saints, à une dizaine de kilomètres d'Itapoà le concrétionnement actuel

est assez fort (sans donner cependant de banc différencié) et que le récif d'Itaparica, d'exposition analogue, situé au Sud de la passe est actuellement mort. L'océanographie physique de la région ainsi que les peuplements de la plate-forme sont inconnus, leur connaissance fournira peut-être des éléments intéressants. Dans certains cas le facteur limitant est plus visible; par exemple dans le cas des peuplements à *Siderastrea* libres en « corne d'abondance » de l'île d'Itamaracà (au Nord du Recife) c'est l'envasement excessif du milieu (chenal d'embarcation) qui a arrêté la croissance de ce qui aurait pu donner un banc secondaire en arrière du récif principal (ce qui se produit actuellement par exemple derrière le récif de Tamandaré).

On pourra noter aussi que, dans certains cas, il y a possibilité de concrétionnement à partir d'une certaine profondeur alors qu'il y a impossibilité plus près de la surface; c'est ce qui se produit à Fernando de Noronha où *Montastrea cavernosa* construit de véritables pinacles entre 20 et 15 mètres; il est vraisemblable, comme nous l'avons montré, que les conditions sont défavorables aux espèces constructrices les plus photophiles qui pourraient prendre le relais de *Montastrea* vers le haut : il est donc, là aussi, à peu près certain que l'augmentation d'épaisseur de ces formations est bloquée.

En définitive il est vraisemblable que les véritables stades initiaux, qui ont donné naissance aux bancs et récifs actuellement observables ont dû se dérouler pendant la remontée flandrienne du niveau marin qui a mis à la disposition des Madréporaires une grande quantité de surfaces favorables à leur développement. Nous devons donc, pour essayer de reconstituer le processus, nous poser un certain nombre de questions.

2) *Quelles sont les profondeurs entre lesquelles est possible le concrétionnement corallien ?*

Nous avons étudié dans la partie descriptive de ce travail trois types de concrétionnement biologique superposés verticalement; ce sont de bas en haut : le concrétionnement par les Mélobésiées sciaphiles équivalent au « coralligène » méditerranéen, phénomène caractéristique de l'étage circalittoral et qui se déroule, dans les régions étudiées, entre 40 et 80 m en moyenne; nous avons vu que la croissance verticale de ces formations est faible et qu'elle ne peut entraîner, même à long terme une élévation importante du niveau du fond. Nous avons vu aussi que les nombreux Madréporaires hermatypiques et hermatypique qui s'y rencontrent ne

jouent aucun rôle constructeur et sont peu calcifiés. Ces fonds paraissent à écarter d'un éventuel cycle de formation des récifs coralliens.

Au-dessus, entre une quarantaine de mètres et le voisinage de la limite des basses mers, s'étend l'étage infralittoral, bien repérable sur les côtes brésiliennes par l'extension verticale des herbiers d'*Halophila*; une partie seulement de cet étage est occupée par des formations coralliennes et, même dans la région des Abrolhos, la limite inférieure des bancs en activité ne dépasse pas 25 mètres. Depuis cette profondeur jusqu'à une limite difficile à préciser et variable avec le mode, les Madréporaires sont capables de concrétionnement actif. Enfin dans une zone étroite (un ou deux mètres au maximum) qui correspond à la limite supérieure de l'étage infralittoral, et assez souvent séparée de la précédente par un hiatus de peuplement, s'établit le concrétionnement à Vermets et Mélobésiées, qui forme la crête algale de nombreux récifs et peut également se développer sur n'importe quel substrat dur dans des conditions bathymétriques et hydrodynamiques favorables.

Le concrétionnement à dominance de Madréporaires, le seul qui soit capable d'aboutir à une élévation notable du fond (le niveau marin étant supposé constant) est donc littéralement pris « en sandwich » entre deux zones de concrétionnement à base de Mélobésiées. Son activité est possible entre 25 m et 1 ou 2 mètres au-dessous des basses mers de vive eau, tout au moins dans la région étudiée.

Nous avons également constaté que les espèces constructrices principales n'étaient pas les mêmes sur toute la hauteur de la zone construite, les *Mussismilia* étant relayées vers 10-15 m par les *Montastrea*.

Si nous supposons maintenant une mer en transgression nous pouvons donc admettre que des récifs pourront se constituer si la surface supérieure du banc en cours d'édification se trouve à tout instant située à moins d'une vingtaine de mètres de la surface. Si la vitesse de montée du niveau marin l'emporte sur la vitesse de concrétionnement, celle-ci finira par décroître et par s'annuler et le banc sera bloqué à un stade intermédiaire et vraisemblablement recouvert ultérieurement par les Mélobésiées; si les deux vitesses sont égales l'élévation du banc suivra celle du plan d'eau et l'on pourra théoriquement avoir des récifs récents de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur; il en sera de même également si le concrétionnement est plus rapide que le mouvement transgressif.

3) *Est-il actuellement possible de comparer la vitesse de croissance des récifs à celle de la remontée flandrienne du niveau marin?*

Une telle comparaison, quoi qu'indispensable, aurait été inconcevable il y a encore quelques années, les nombreuses études récentes, bien documentées et appuyées sur de nombreuses datations au Carbone 14 ont montré que la transgression flandrienne avait ramené le niveau marin de près de — 120 mètres au niveau actuel en une vingtaine de milliers d'années (nous nous basons sur la courbe donnée par J. Curray, (1961), qui fait le point des travaux de nombreux auteurs).

Cependant de nombreuses incertitudes persistent et, en particulier, il existe de grosses divergences entre les différents auteurs, en ce qui concerne la régularité de la vitesse de remontée du niveau, l'existence de haltes (et même d'oscillations régressives) pendant la période comprise entre — 20 000 et — 6 000 absolus et surtout dans l'estimation de la date à laquelle le niveau serait stabilisé à sa valeur actuelle (opposition de l'école américaine de Shepard pour laquelle le niveau aurait atteint le zéro actuel entre — 5 000 et — 3 000 ans absolus et serait ensuite resté stable et les vues de Fairbridge qui, appuyé par de nombreux chercheurs, pense que l'on aurait eu une série d'oscillations autour du niveau actuel, avec des maxima de 2 à 3 mètres au-dessus et au-dessous du zéro actuel entre — 5 000 absolus et nos jours).

Il semble cependant que l'on puisse tenir pour probable, entre les dates de — 16 000 et — 5 000 absolus, une remontée du niveau marin de l'ordre de 70 mètres avec une vitesse assez régulière (McFarlan, 1961; Kaye et Barghoorn, 1964) avec une incertitude de l'ordre de 2 000 ans sur les dates et d'une dizaine de mètres sur les hauteurs, ce qui donnerait une vitesse moyenne de remontée de l'ordre de 0,5 cm par an. Il semble que cette valeur puisse être considérée comme utilisable pour une première approximation à l'intérieur de l'intervalle de temps et de hauteur mentionné.

En ce qui concerne la vitesse de croissance verticale des récifs, bien que l'on ait encore beaucoup de difficultés à comparer ce que l'on sait de la vitesse de croissance verticale des polypiers à la vitesse d'élévation du récif qu'ils constituent, un travail récent de Hoffmeister (1964) permet d'arriver à des chiffres intéressants qui semblent s'appliquer particulièrement bien aux récifs brésiliens. En effet cet auteur base son estimation sur l'étude des colonies de *Montastrea annularis*, espèce proche par son écologie et ses formes de croissance à la fois de *Montastrea cavernosa* et de *Mussismilia braziliensis*, les deux constructeurs principaux des récifs brésiliens.

Les résultats proposés par Hoffmeister sont une vitesse de croissance maximum en conditions très favorables de l'ordre de 1 cm par an avec une forte probabilité pour que cette valeur soit exceptionnelle et à peu près double de la normale.

Que doit-on penser de ce résultat ? Les vitesses moyennes de remontée du niveau marin et de croissance verticale du récif seraient donc du même ordre de grandeur. S'il en était partout ainsi le rebord de la plate-forme continentale devrait supporter un récif barrière récent de plus d'une centaine de mètres d'épaisseur. Ce phénomène aurait pu se produire à chaque interglaciaire, la barrière étant ensuite partiellement érodée lors du bas niveau correspondant à la période glaciaire suivante puis recouverte par de nouvelles assises quand le niveau remontait. C'est ainsi que Vaughan (1919) concevait la formation de la Grande Barrière australienne, dont le lagon ne mesure guère plus de 70 mètres de profondeur. De la même façon J. Avias (1959) envisage comme hypothèse de travail l'âge quaternaire de la Barrière récifale de Nouvelle Calédonie.

Or si de telles barrières se trouvent par exemple le long de certains rivages de Cuba (Davis, 1928) le bord de la plate-forme continentale brésilienne n'en porte pas. On doit donc envisager les deux cas suivants : (*fig.* 67).

a) Le peuplement corallien de la plate-forme continentale s'est effectué au Brésil avec une vitesse de croissance inférieure à la vitesse de remontée du niveau marin; dans ce cas on doit avoir des formations coralliennes mortes « ennoyées » réparties sur le bord de la plate-forme et sur la partie externe de celle-ci : c'est vraisemblablement le cas de la région des Abrolhos.

b) Le peuplement corallien des régions où les récifs sont les moins épais ne s'est fait qu'avec un certain retard par rapport à la remontée du niveau marin.

Or, dans la région du Nordeste, l'épaisseur moyenne des récifs, nous l'avons vu, ne dépasse pas une dizaine de mètres alors qu'elle est de 20 mètres au moins dans la région des Abrolhos et de 5 à 6 mètres autour du Cap São Roque. De plus nos plongées au large de Recife nous ont montré l'existence vers 20 et 30 mètres de dalles ne présentant pas une morphologie corallienne et non recouvertes par des Madréporaires; ceci laisserait entendre que lorsque ces substrats durs se trouvaient dans la zone des quinze premiers mètres, il y a quelques milliers d'années, les Madréporaires n'ont été ni assez nombreux ni assez actifs pour les recouvrir et amorcer

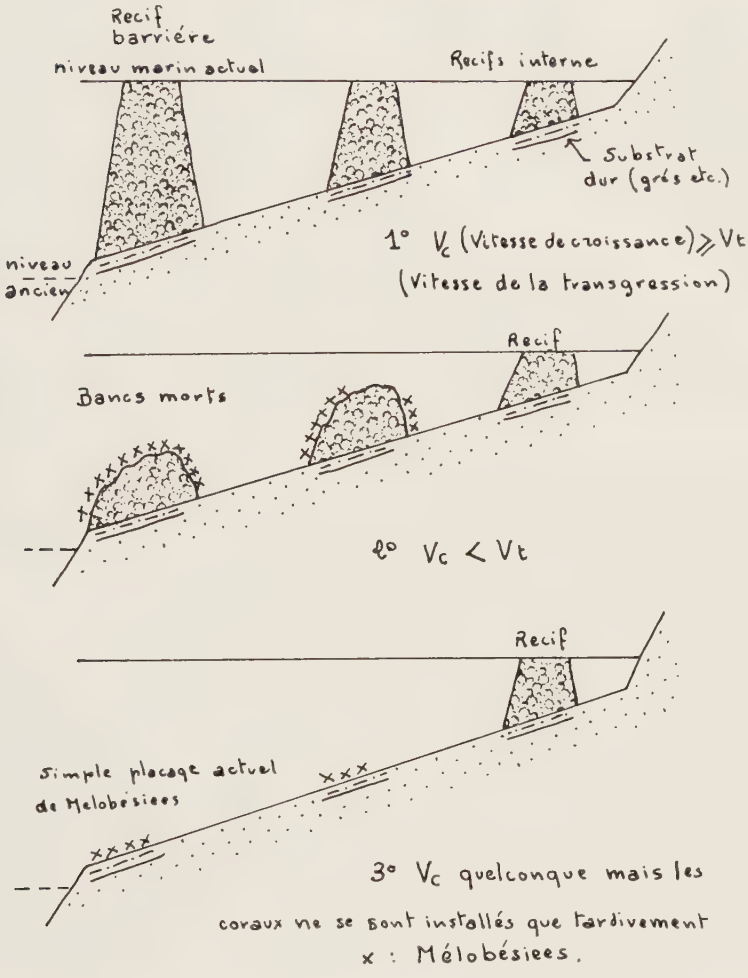


FIGURE 67. — Croissance des récifs et transgression flandrienne.

1) Dans le cas où la vitesse de croissance verticale du récif est supérieure ou égale à la vitesse de remontée du niveau marin on obtient un récif barrière du type Australie ou Nouvelle-Calédonie; ce type de formations ne se rencontre pas sur les côtes du Brésil.

2) Si la vitesse de croissance est inférieure à la vitesse de remontée du niveau il se formera des récifs qui se développeront en épaisseur jusqu'à ce qu'ils se trouvent trop profondément situés pour que les Madréporaires constructeurs restent actifs, ils seront alors recouverts d'une couche de Mélobésiées et de coraux sciaphiles. La vitesse de remontée du niveau marin n'étant pas constante, les récifs les plus internes pourront émerger. Il semble qu'un schéma de ce type pourrait s'appliquer à la région des Abrolhos.

3) La coupe représente le cas de la plate-forme des côtes du Nordeste brésilien, au large des récifs on observe une série de substrats durs non recouverts par les Madréporaires; l'explication la plus plausible est que le repeuplement de la plate-forme en Madréporaires, à partir de la région des Abrolhos n'a pu s'effectuer que tardivement, lorsque des peuplements coralliens ont pu s'établir sur le rebord de la plate-forme devant l'embouchure de São Francisco.

la formation d'un banc. Par contre, les récifs actuellement existants peuvent facilement être attribués à la croissance récente des Madréporaires, sur un fond de 10 mètres et en 2 000 - 3 000 ans il suffit d'une vitesse de croissance moyenne ,de l'ordre de 0,5 cm par an, pour atteindre le voisinage de la surface.

Ces considérations basées sur la vitesse de croissance du récif sont à comparer avec nos résultats des chapitres précédents; l'étude de la répartition horizontale des Madréporaires appuie en effet l'hypothèse d'un repeuplement tardif de la plate-forme du Nordeste par concordance entre des résultats obtenus de façon différente; il est les Madréporaires pendant la trangression flandrienne, il y a donc vraisemblable que la barrière du São Francisco a dû être extrêmement efficace pendant les bas niveaux et le début de la transgression à cause du très fort apport sédimentaire de la rivière reprenant et transportant les sédiments de la plate-forme émergée. Cette barrière n'a dû se « lever » que pour un niveau marin assez élevé, suffisant pour le passage « en profondeur » des Madréporaires en direction du Nord, passage qui n'était peut-être pas possible le long de la pente supérieure du talus continental.

Aux Abrolhos, où se trouvent des surfaces horizontales échelonnées en escalier (bancs) depuis plus de 100 m jusqu'à 20 m, il est vraisemblable que la croissance corallienne s'est également maintenue assez faible. Il est encore trop tôt cependant pour en juger définitivement, seule l'étude géophysique de la région des Abrolhos permettrait de dépasser le stade de l'hypothèse de travail. Notons aussi que les considérations précédentes supposent *à priori* que les récifs actuellement observables sont dans leur totalité flandriens. Nous verrons ultérieurement que l'existence à l'intérieur de leur masse d'un « noyau » récifal plus ancien ne doit pas être écartée, surtout dans la région des Abrolhos.

Sous-chapitre 2. — *Développement du banc corallien non émergeant*

Si l'observation des premiers stades du concrétionnement corallien est actuellement improbable, il est par contre plus facile d'observer des bancs récifaux en cours de croissance, soit que celle-ci se soit faite lentement, soit, au contraire, qu'elle n'ait commencé que tardivement. C'est surtout dans le Nordeste que se trouvent des exemples de bancs actifs, le plus beau et le mieux connu étant le « Banc de la Base Aérienne » de Recife que nous avons longuement décrit. L'intérêt de cet exemple est considérable pour une série de raisons; tout d'abord nous connaissons la nature du substrat sur lequel il s'est formé : il s'agit d'une dalle de

grès parallèle au système d' « arrecifes » de Recife Boa-Viagem et sur laquelle est aussi basé le récif émergeant de Candeias. De plus, la raison pour laquelle le banc n'émerge pas pourrait s'expliquer par des modifications récentes des conditions écologiques locales liées à un déplacement vers le Sud de l'estuaire du Jaboatão. Si nous admettons la jeunesse de ce banc et le principe de son activité actuelle nous devons donc admettre qu'il s'est édifié en une période relativement courte, de l'ordre de quelques milliers d'années seulement (vraisemblablement moins de 3 000 ans) soit pour une épaisseur maximum d'à peu près 8 m, une vitesse de croissance de 0,5 cm/an approximativement, ce qui paraît plausible.

Sans décrire de nouveau en détail le banc de la Base Aérienne de Recife, nous pouvons résumer les principaux traits de sa structure.

De la mer vers le rivage on observe : une pente externe, faiblement inclinée entre 10 - 12 m et 5 - 6 m, formée de crêtes coralliennes basses séparées par des sillons sableux qui ont tendance à converger et à s'anastomoser, le peuplement des crêtes est à base de *Montastrea*. Entre 5 - 6 m et 2 - 3 m le relief s'accentue, les chenaux sont moins réguliers, les crêtes se dissocient en pinacles isolés à base de *Mussismilia harttii* et *Siderastrea stellata* (comblant latéralement les intervalles entre les pinacles) ; la sédimentation entre les pinacles paraît active et comprend un fort pourcentage d'articles d'*Halimeda* et de branches cassées de *Mussismilia*. Enfin dans la partie postérieure du banc la hauteur des pinacles est maximum, ils sont couronnés de Millépores, la sédimentation devient plus fine et le bord interne est marqué par des pinacles isolés en fort relief au-dessus du fond de vase et à peuplements appauvris, localement soudés en un plateau uni, parsemé d'innombrables taches sableuses et entaillé par de profonds canaux, les « chenaux en V ».

La première observation concerne les crêtes et sillons de la pente externe : il s'agit d'une structure d'origine constructive et non de rainures d'érosion et elles sont bien développées sur la pente externe d'un banc non émergeant. Le mouvement de va-et-vient dû à la houle (les longueurs d'onde étant assez considérables toute l'année ce mouvement est sensible jusqu'à une vingtaine de mètres) déplaçant les sédiments, pourrait être à l'origine de cette structure en couloirs, tout à fait analogue à celle que l'on observe dans le domaine terrestre dans la végétation littorale soumise à des vents violents; les mouvements de l'eau tendraient à créer des zones alternées en creux et en relief, ces dernières étant ensuite fixées par les Madréporaires et les Mélobésiées; les mouvements de va-et-

vient seraient ainsi peu à peu canalisés dans les sillons où les sédiments fins en perpétuel mouvement empêcheraient la croissance des Madréporaires qui se concentreraient, eux, sur les crêtes, en accroissant ainsi la hauteur.

Dans le cas particulier du banc étudié, il semble bien que la zone externe se situe au large de la ligne de grès qui constitue le socle du récif; malheureusement il s'agit là d'une hypothèse impossible à vérifier. La croissance vers la mer d'un banc récifal serait sans doute favorisée par l'accumulation des débris coralliens à la base de la pente externe, même si celle-ci est faible.

Dans la partie médiane du banc il semble que l'élévation se fasse de façon irrégulière, par développement des pinacles entre lesquels s'accumulent sédiments et débris coralliens; c'est ici qu'apparaît l'importance des espèces branchues et des *Halimeda*; les débris accumulés peuvent être envasés ou cimentés par des Mélobésiées.

Enfin sur le bord postérieur, l'élévation est maximale. On notera, contrastant avec la pente douce de la zone externe, le tombant abrupt qui termine le banc au contact des sédiments fins du chenal d'embarcation; celui-ci ne contient aucun pinacle, même peu élevé et les eaux y sont turbides en permanence.

Le banc de la Base Aérienne présente donc un aspect très différencié et se situe certainement assez loin sur le chemin qui conduit au récif émergeant. Une baisse du niveau marin de l'ordre de deux mètres ferait émerger à basse mer toute la partie interne qui apparaît comme l'équivalent d'un futur platier. Il ne nous appartient cependant pas de nous risquer à faire des pronostics sur son évolution future; d'ores et déjà dans les parties les plus élevées des pinacles les branches des Millépores apparaissent morphosées; là où le massif corallien forme un plateau uni la vitalité des Madréporaires est faible et nous ne pouvons pas savoir si c'est à cause de la faible profondeur ou pour des raisons locales comme par exemple les influences des eaux turbides qui envahissent l'ensemble du banc à chaque haute mer. Il est impossible de déduire le niveau maximum auquel peut s'élever le concrétionnement; les Mélobésiées sont actives mais limitent leur action à la zone moyenne et à la pente externe, et il nous semble exclu que le récif puisse, dès ce stade, s'exhausser sous l'action d'un concrétionnement algal.

En résumé, l'étude du Banc corallien non émergeant montre que beaucoup de caractères morphologiques du récif émergeant sont acquis au stade du banc, en particulier le système de chenaux de

la pente externe, le tombant postérieur et les pinacles de la région frontale.

Certains récifs caraïbes en particulier ceux de Floride et des Bahamas (Storr, 1964) sont à proprement parler des bancs, leur différenciation morphologique n'est guère supérieure à celle du Banc de la Base Aérienne.

Sous-chapitre 3. — *Le problème de l'émersion des récifs*

Lorsque l'on étudie l'abondante bibliograhie consacrée aux récifs coralliens, on s'aperçoit qu'il est souvent très difficile d'évaluer la hauteur des platiers récifaux d'après les descriptions des auteurs, la lecture des cartes marines n'apporte pas toujours de solution à ce problème. Lorsqu'il s'agit d'attribuer l'émersion des platiers, soit à une variation négative du niveau marin, soit, au contraire, à la croissance des Madréporaires, il n'est donc pas étonnant qu'une certaine confusion règne entre les interprétations des différents auteurs. D'une part l'idée de fluctuations récentes du niveau marin autour du zéro actuel n'est pas universellement démontrée, d'autre part les exemples abondent de platiers où de magnifiques colonies coralliennes massives, de un ou plusieurs mètres de diamètre émergent à basse mer. Si l'on compare le cas de la biocénose corallienne (*sensu lato*) à celui d'une autre biocénose infralittorale comme l'herbier de Posidonies méditerranéen (Molinier et Picard, 1952) on voit que ces deux formations très actives et à pouvoir constructeur élevé, tendent naturellement à envahir tout l'étage infralittoral y compris la partie superficielle de celui-ci donnant alors des formations dont la partie supérieure peut émerger. Mais cette émersion ne doit jamais être trop considérable sinon ces peuplements seraient remplacés par des biocénoses médiolittorales. On constate que le substrat constitué par les rhizomes des Posidonies ne découvre pas, seules les feuilles s'étendent en surface. Cette comparaison n'a bien sûr qu'une valeur relative. Dans le cas des mers à marée faible les Madréporaires doivent émerger surtout lorsqu'une haute pression barométrique fait baisser le niveau du plan d'eau, dans les mers à marées fortes il semble que l'émersion corresponde seulement aux plus fortes marées; en cela les Madréporaires seraient comparables aux Laminariales, surtout en Atlantique tropical.

Si un platier émerge donc régulièrement à basse mer, par exemple au-dessus du niveau des basses mers de grande vive eau et que ce platier soit constitué de coraux morts en position de croissance, on peut donc considérer qu'une cause secondaire, élévation du

socle ou abaissement du niveau marin est intervenue. De très nombreux récifs seraient à revoir à ce point de vue. Quant à l'installation d'une crête algale, elle doit dépendre pour beaucoup du mode et de la vitalité locale des Mélobésiées; il est vraisemblable que les récifs exhaussés en portent plus fréquemment que ceux qui sont parvenus au terme normal de leur croissance.

Cette question de l'émergence des platiers est d'une grande complexité et mériterait une étude séparée; nous ne pouvons que l'esquisser, n'ayant pu étudier les récifs que d'une région assez peu étendue et de toute façon assez atypique à l'échelle mondiale.

Exemples.

Goreau (1959) nous donne dans sa description du récif d'Ocho Rios (Jamaïque) une excellente image de ce que peut être un récif qui est (peut-être) arrivé au voisinage de la surface par la simple croissance des coraux. Le platier (« reef flat ») de ce récif d'aspect très jeune et dynamique, se maintient en effet légèrement au-dessous des basses mers les plus fortes (l'amplitude de la marée est très faible avec un maximum de 36 cm) et il est constitué entièrement par des colonies mortes et non consolidées d'*Acropora palmata* en place. Comme ce « platier » est bordé vers le large par une « surf zone » et une « palmata zone » où cette espèce est au maximum de sa croissance, il est vraisemblable que le récif progresse actuellement vers la mer par le jeu de la croissance des *Acropora*. Un tel récif, s'il est véritablement récent, doit donc avoir une structure en couches superposées, la couche supérieure étant uniquement à base d'*Acropora palmata*.

Inversement, le récif de Rio Doce possède un platier solide bordé vers le large par une crête algale bien développée. Même si nous faisons abstraction des témoins coralliens qui parsèment ce platier, sa situation au-dessus du niveau des grandes basses mers et sa constitution nettement corallienne laissent entendre qu'il se trouve actuellement au-dessus de son niveau actuel; quant aux témoins ils indiquent une oscillation ultérieure positive. De tels cas ont été décrits de la région indo-pacifique par Kuenen (1933) et Battistini (1964) (*fig.* 68).

Les récifs du Cap São Roque semblent montrer un passage sans hiatus entre les *Siderastrea* constituant les pinacles isolés qui tiennent lieu de platier et les Vermets et les Mélobésiées qui les encapuchonnent; il est pourtant difficile d'assurer que les coraux sont parvenus d'eux-mêmes à ce niveau, d'autant plus qu'une ligne de Vermets correspondant à un niveau plus élevé s'observe sur ce secteur de côte.

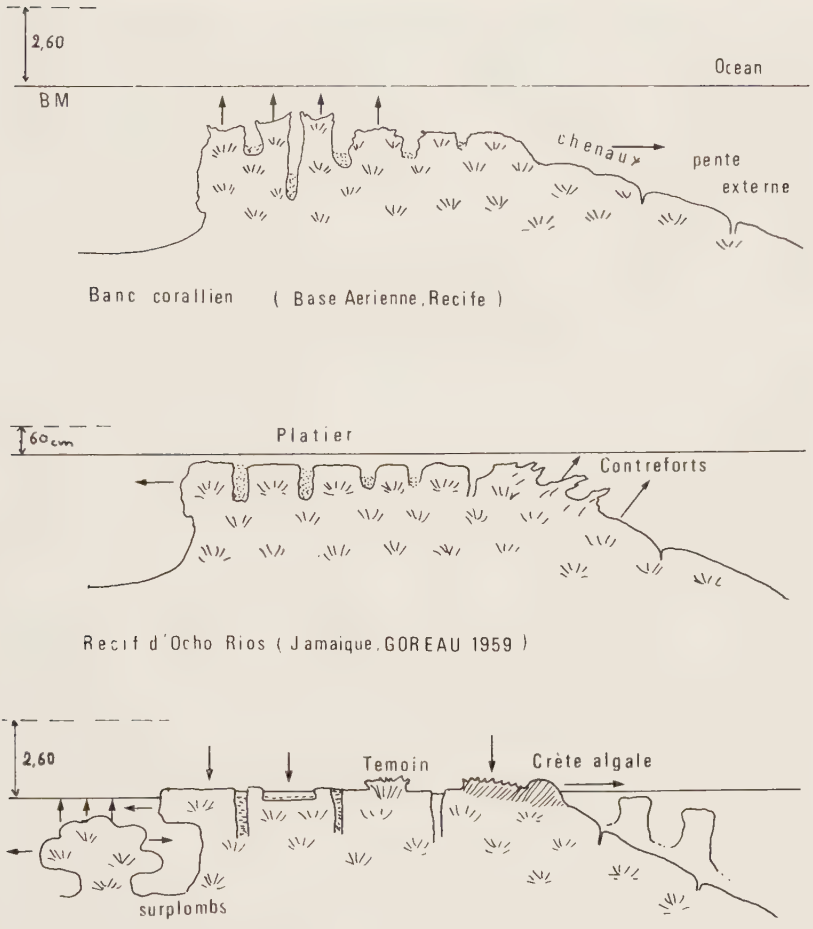


FIGURE 68. — Récif à crête algale. — Porto de Galinhas.
Différents stades dans l'évolution des récifs en Atlantique tropical.

1) Banc corallien non émergeant (Banc de la Base aérienne, Recife, Brésil) : la partie antérieure du banc porte un système de chenaux dirigés vers le large, la partie postérieure est formée de pinacles plus ou moins coalescents.

2) Récif d'Ocho Rios (Jamaïque, GOREAU, 1959). Le platier est formé de colonies d'*Acropora* en place et n'émerge pas à basse mer. La croissance des *Acropora* détermine un système de « contreforts » sur la partie frontale; il n'y a pas de crête algale. Ce stade apparaît comme l'évolution normale du précédent dans une région où la croissance corallienne est plus vigoureuse.

3) Récif corallien du Nordeste brésilien (Porto de Galinhas). Le platier émerge fortement à basse mer et porte des témoins érodés (Madréporaires et Vermets) d'un niveau marin récent supérieur à l'actuel; une crête algale marque le bord externe; en arrière du récif se sont développés des pinacles qui montrent d'importants surplombs à leur base. Il est vraisemblable que ce récif n'a pu émerger du fait de la simple croissance des coraux. Ce stade n'est donc pas l'aboutissement normal du processus d'édification biologique, l'intervention des oscillations récentes du niveau marin a été prépondérante.

Sous-chapitre 4. — *Évolution morphologique du récif émergé (avec crête algale)*

Quelle que soit son origine, l'émersion du récif entraîne un certain nombre de modifications du milieu qui retentissent à leur tour sur la composition des peuplements et sur la forme du récif.

Tout d'abord l'émersion à basse mer crée, en arrière du récif, une zone d'eaux calmes, la protection étant encore souvent sensible à haute mer (déferlement des houles au passage de la crête algale). L'eau est généralement claire et les conditions favorables à une reprise de l'activité corallienne, y compris sur substrat meuble, par le développement des *Siderastrea* libres. C'est ainsi que se développent les vastes platiers internes, peu épais mais de grande extension horizontale, que nous avons décrits en arrière du récif principal de Tamandaré; dans ce cas particulier la forme plus ou moins circulaire de ces massifs s'oppose à celle, linéaire, du récif principal (basé sur des bancs de grès) ainsi qu'on peut facilement le voir sur les photographies aériennes; ces massifs arrondis sont, là où nous avons pu les observer, à base de Millépores et de *Siderastrea,* plus rarement de *Mussismilia harttii;* les bancs coralliens qui se trouvent en arrière d'une ligne d'écueils rocheux (cas de Muriù et de Pirangy sur les côtes du Rio Grande do Norte) entrent également dans cette catégorie. Le mode calme et les bonnes conditions de milieu alliées à la tolérance des espèces qui constituent ces massifs leur permettent de se rapprocher du niveau des basses mers, généralement sans qu'il y ait émersion. En même temps, en arrière du tombant interne, se forme le système de surplombs que nous avons décrits dans le chapitre précédent, des pinacles se développent, la croissance corallienne tend à obstruer les passes ou à refermer les indentations du récif. En somme la croissance corallienne devient intense dans l'ensemble postrécifal.

Au niveau de la crête algale il semble que les vents dominants, par le meilleur développement des Mélobésiées dans les endroits les plus battus, tendent à modifier la forme du front du récif, la crête algale tendrait ainsi à s'incurver vers l'Ouest sur l'extrémité Sud du récif de Porto de Galinhas, battu par les houles de Sud-Est.

Le même phénomène, jouant à une échelle moindre sur l'extrémité Nord du récif, tend à donner à celui-ci ou plutôt à ses parties émergeantes une forme arrondie en arc. Il est difficile d'évaluer le déplacement éventuel vers l'avant de la crête algale, les différents stades de développement que l'on observe (Rio Doce, Tamandaré) dans lesquels une ligne active est située en avant d'une ligne

ancienne érodée peuvent être expliqués plus facilement par une modification du niveau marin. Latéralement la crête algale tend à se développer sur toute la longueur du récif et joue sans doute un rôle considérable dans le rétrécissement des passes (généralement plus accentué près de l'extrémité externe de celle-ci) et la soudure des massifs récifaux dont l'union forme les longs platiers rectilignes du Nordeste. Ceci est particulièrement bien visible sur les photographies aériennes du récif de Candeias (au Sud de Recife). Nous avons déjà étudié la morphologie de la crête; généralement il n'y a pas de trace de système d'éperons et de sillons (« comb tooth » ou « spur and groove structure » de Tracey et al., 1948) sauf sur une seule photographie aérienne oblique du récif de Cabedelo (Parahyba) que nous n'avons pu revisiter depuis. La structure est plutôt, comme nous l'avons dit, du type en « têtes » algales séparées ou réunies en bourrelet continu; nous avons souvent observé devant l'ouverture. des « criques » du bord externe une ligne de « têtes » émergeantes qui en soustendait l'ouverture. Le même phénomène a été décrit par M. Pichon (1964) sur le récif de Tuléar qui ne possède pourtant pas de crête algale; dans ce cas particulier il s'agissait de pinacles coralliens; il semble que c'est par-dessus de tels pinacles que s'installent des têtes de Mélobésiées à l'occasion de l'émersion du récif, nous avons d'ailleurs signalé plus haut l'existence au sein d'une « tête » de la crête algale du récif de Candeias d'une colonie morte de *Porites astreoides* qui a dû servir de noyau pour le développement des Mélobésiées.

Sous-chapitre 5. — *L'érosion des récifs*

Les deux grands types d'érosion dont nous devrons tenir compte sont l'érosion physique et l'érosion biologique; il ne nous a pas semblé en effet que l'on puisse dans le cas présent dissocier les phénomènes purement chimiques des processus biologiques; quant aux phénomènes de dissolution du calcaire nous ne pensons pas qu'ils se produisent aux niveaux étudiés; nous suivons en cela les idées de Nesteroff (1956), Storr (1964) et Neumann (1965). Nous étudierons successivement l'érosion dans les étages infra et médiolittoral.

a) *Étage infralittoral.*

— *Érosion physique.* — C'est l'action mécanique des vagues qui est la cause primordiale d'érosion soit par le jeu du déplacement des sédiments au ras du sol, soit par l'action directe du déferlement.

Le déplacement du sédiment au ras du fond est certainement responsable au Brésil d'une érosion, sans doute limitée, des parois inférieures des chenaux de la pente externe du récif mais à notre avis c'est le contrôle de la croissance des Madréporaires par mise en suspension du sédiment au ras du fond qui est responsable des importants surplombs de l'arrière récif, entièrement recouverts de Mélobésiées encroûtantes dans la plupart des cas. Storr qui a vu des surplombs analogues aux Bahamas et qui les attribue à l'érosion par le sédiment reconnaît cependant que le développement des Madréporaires, en particulier d'*Agaricia agaricites* sur le rebord supérieur du surplomb entre pour beaucoup dans le développement de celui-ci. Quant à l'action mécanique directe des vagues elle nous a semblé partout remarquablement faible. Ceci est dû à des facteurs biologiques aussi bien que météorologiques; en effet aussi bien dans les Caraïbes que dans l'Indo-Pacifique ce sont les formes branchues et principalement les *Acropora*, florissants sur la partie supérieure de la pente externe, qui fournissent la majeure partie du matériel biodétritique arraché par les vagues et jeté sur les platiers où il s'accumule en formant la levée de blocs. Or au Brésil le genre *Acropora* est absent et les Millépores qui les remplacent, à cause de la grande compacité de leur squelette, paraissent particulièrement difficiles à briser. *Mussismilia harttii*, par contre, bien que se trouvant à un niveau nettement inférieur fournit, lui, une quantité considérable de débris mais ceux-ci ne sont pas transportés très loin et, comme nous l'avons vu à propos du récif de Candeias sont souvent capables de régénérer et de donner des bouquets simplement posés sur le sédiment. Cette destruction mécanique limitée, fournissant des débris peu mobiles, généralement fixés par les Mélobésiées doit, selon nous, être considérée plutôt comme un facteur de croissance du récif, fournissant des substrats nouveaux aux Madréporaires, que comme une véritable érosion.

Enfin il ne faut pas oublier que, malgré la constance des alizés, qui déterminent des houles régulières de un à trois mètres d'amplitude, les ouragans sont complètement inconnus des côtes brésiliennes. Or, d'après Goreau (1959), la destruction, parfois massive, des *Acropora* est due essentiellement aux vagues d'ouragan. Ces circonstances particulières expliquent le développement extrêmement faible des dépôts détritiques grossiers, blocs et débris, sur les platiers brésiliens.

— *Érosion biologique.* — Elle nous a semblé faible à peu près partout. Malgré la faible vitalité de certains récifs, les coraux morts

sont en effet le plus souvent recouverts de Mélobésiées encroûtantes qui les protègent; il ne nous a pas semblé que des phénomènes de corrosion biologique du calcaire par les Algues calcaires, tels que ceux décrits par Ranson (1962) dans le Pacifique, se produisent sur les récifs étudiés. Peut-être s'agit-il d'une propriété particulière à certaines espèces, nous ne pensons pas qu'elle soit générale chez les Mélobésiées, au contraire. L'érosion biologique maximale semble se produire sur les parties immergées des récifs morts actuellement couvertes par un gazon algal ras; c'est en effet par dessous cette couverture algale et la fine couche de sédiments qu'elle retient que se déroule l'attaque. Il apparaît également que l'érosion biologique infralittorale, on ne sait pas encore pourquoi, est maximum en mode calme; c'est ainsi qu'aux Bermudes, les rives de Harrington Sound sont creusées activement, la profondeur du surplomb atteignant près de trois mètres [Agassiz, (1895); Neumann, (1965)]. Nous avons observé des surplombs analogues (et qui, eux, ne sont pas couverts par les Mélobésiées) sur les calcaires de la formation Maria Farinha immergés en mode très calme devant la plage de Punta das Pedras (Pernambuco). Storr (1964) décrit aux Bahamas de profondes grottes creusées à l'intérieur des pinacles coralliens, qui sont ainsi pratiquement évidés de l'intérieur; nous n'avons jamais observé ce phénomène au Brésil, toutes les grottes et surplombs observés par nous sur les récifs nous ont paru des formes de construction et non d'érosion.

Un cas particulier d'érosion biologique infralittorale est constitué par les phénomènes qui se produisent dans les flaques des platiers émergeants, ainsi d'ailleurs que sur les parties asséchées de ceux-ci à peuplements algaux infralittoraux. Tout d'abord il nous est apparu que l'influence des Cliones et des Lithophages divers était considérable sur toutes les parties du platier couvertes par un gazon algal (comme sur les parties immergées), de plus intervient, sur les platiers coralliens comme sur les récifs de grès l'action très importante des *Echinometra lucunter;* ceux-ci sont capables d'agrandir de petites flaques en creusant dans le rebord de celles-ci une ligne continue de logettes. Ce creusement est très rapide dans les grès des arrécifes, le grain assez gros et la cimentation assez faible de cette roche permettant une attaque très efficace. Nous avons vu ainsi des flaques de formes géométriques entièrement bordées d'oursins, ceux-ci peuvent également desceller en creusant par en dessous des colonies assez grosses de *Favia* ou de *Siderastrea,* enfin nous avons pu voir, sur des récifs en gradins, la capture d'une flaque par une autre flaque d'un niveau inférieur sous l'action des *Echinometra,* la flaque supérieure s'étant alors vidée et ne retenant plus

l'eau à basse mer les perforations de ses bords ont été littéralement « fossilisées » puisque les *Echinometra* ne peuvent plus s'y développer. Evidemment il ne faut pas confondre des perforations de ce type avec celles (hors de toute flaque, ou, mieux, sur des parois subverticales) qui ont été creusées par les oursins lors d'un niveau marin supérieur à l'actuel.

Enfin un dernier type d'érosion biologique est le contrôle, vraisemblablement par l'action de Chlorophycées filamenteuses endolithes, de la croissance des Madréporaires dans les flaques des platiers, ceux-ci sont en effet comme nous l'avons vu, tronqués au niveau de la flaque, seules les parties latérales restant vivantes.

Nous ne pouvons donner de précision sur l'importance des Poissons récifaux comme agents d'érosion biologique; nous avons fréquemment remarqué sur des Millépores, des *Siderastrea, Montastrea* et *Mussismilia* des traces de dents attribuables à des Scaridae, mais la relative rareté des Poissons (surtout dans le Nordeste) et des espèces branchues, plus vulnérables, nous inclinent à penser que cette action est relativement peu importante.

b) *Étage médiolittoral.*

Sur tous les platiers coralliens qui portent des témoins de Vermets fossiles suffisamment élevés por être couverts par des peuplements médiolittoraux (*Tetraclita* et *Chtamales*) on observe une zonation très nette des formes d'érosion; alors que les surfaces érodées infralittorales sont lisses, les parties qui correspondent au Médiolittoral sont extrêmement rugueuses et déchiquetées avec une couleur grise caractéristique et une structure fine en cupules d'érosion de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètre. L'intérieur de ces roches, généralement fortement consolidées et résonnant sous le marteau montre une section de couleur vert olive. Ce phénomène d'érosion biologique a été décrit par Nesteroff (1956, 1965 a) et Ranson (1962) aussi bien sur les côtes des régions tropicales qu'en Méditerranée. Nous avons montré récemment que ce phénomène, contrairement à celui du creusement biologique infralittoral de mode calme, caractérise un mode battu (Laborel, 1966).

Sur certains récifs l'opposition entre l'érosion par les Cliones qui attaque la partie inférieure des témoins de Vermets et le durcissement de la partie supérieure Médiolittorale donne des formes en champignon dont le « chapeau » présente les caractères de surface de l'érosion médiolittorale alors que le « pied » profon-

dément érodé est lisse et attaqué par les Cliones; ces formes ont été décrites par BRANNER et plus récemment par A. DA CUNHA REBOUÇAS (1962) sur le relief de Tamandaré. Quant à la surface des bancs gréseux l'étude de détail de ses formes d'érosion sortirait du cadre de cette étude, cependant la même opposition entre aspect lisse dans l'infralittoral et rugueux et déchiqueté dès l'apparition des *Tetraclita* s'y observe; enfin, en plus de l'érosion par les *Echinometra* on y observe parfois des vasques peu profondes à léger rebord saillant étagées les unes par rapport aux autres, mais il ne nous a pas semblé que cet étagement, comme celui décrit par BATTISTINI des bancs de grès littoraux de Madagascar était régulièrement disposé d'avant en arrière, les flaques frontales étant les plus hautes. Sur certains arrecifes (partie méridionale de celui de Suape par exemple) s'observe également un système de vasques arrondies plus ou moins reliées entre elles (BRANNER, 1904; BATTISTINI, 1964). Notons enfin que l'érosion mécanique est particulièrement active sur la partie frontale des « arecifes », ceux-ci étant brisés par les vagues en dalles plus ou moins rectangulaires, l'affouillement par les eaux des rivières produit le même phénomène sur leur face interne (HARTT, 1870; BRANNER, 1904); nous ne reviendrons pas sur ces phénomènes que nous avons signalés dans la partie descriptive de ce travail.

Enfin parmi les différents facteurs qui jouent un rôle dans l'érosion des récifs brésiliens il faut compter l'action de l'homme qui est loin d'être négligeable. De nombreuses régions littorales du Brésil sont dépourvues de tout gisement calcaire naturel et les Madréporaires ont été utilisés de tout temps à l'échelle artisanale et parfois industrielle pour la fabrication de la chaux. Les récifs les plus exploités sont souvent des massifs coralliens morts plus ou moins recouverts par le sable des plages et affleurant sur l'estran à basse mer.

D'innombrables exemples de cette industrie se trouvent dans la bibliograhie consacrée aux côtes brésiliennes (HARTT et BRANNER en particulier), RATHBUN (1878) décrit la dégradation du récif d'Itaparicà près de Bahia; nous avons pu constater que l'exploitation a actuellement cessé après l'enlèvement de quantités sans doute considérables; l'érosion dans ce cas est d'autant plus irréversible qu'il s'agit de récifs morts. On constate à l'heure actuelle une intensification de la prospection des récifs comme source de calcaire; l'agriculture pouvant utiliser directement le corail broyé pour l'amendement des terres, et il semble que plusieurs projets soient en cours pour l'utilisation de gisements subfossiles (Cimen-

terie d'Aratù dans la baie de Tous les Saints, exploitation probable du récif fossile de la Lagune de Itahype au Nord d'Ilheus) ou actifs (récifs de la baie de Tamandaré). Il est certain que de tels prélèvements, ininterrompus depuis près de deux siècles dans certains secteurs ont dû jouer un rôle non négligeable dans le bilan du récif. Cependant, à part le cas des passes du récif d'Itaparicà que les pêcheurs locaux disent avoir été creusées de main d'homme (ce qui n'est pas certain, tout au plus leur tracé aurait-il été rectifié et débarrassé des pinacles qui pouvaient s'y trouver), nous n'avons pas pu constater de façon formelle de détériorations de la partie vivante du récif dues à ces prélèvements.

Cependant la raréfaction des colonies vivantes de grande taille (*Siderastrea, Montastrea,* Porites) observable sur presque tous les récifs du Nordeste est peut-être, au moins en partie, due à cette exploitation.

Sous-chapitre 6. — *Vitalité actuelle des peuplements coralliens des côtes du Brésil*

Nous avons à plusieurs reprises fait remarquer, au cours du présent travail, qu'il n'y a pas toujours superposition entre les zones où la croissance des Madréporaires est abondante et celles où des récifs sont édifiés. C'est ainsi que Fernando de Noronha, Cabo Frio, Ilha Grande possèdent sur fonds rocheux une densité notable de colonies par unité de surface sans aucun concrétionnement actif alors que les récifs du Nordeste sont au contraire très peu peuplés. Ce défaut de peuplement peut être schématisé ainsi : d'abord il y a une certaine abondance de récifs entièrement morts, comme celui d'*Itaparica* déjà cité, d'autres sont morts seulement sur une partie de leur superficie; c'est le cas du récif de Candeias sur lequel vient déboucher le rio Jaboatão, c'est le cas encore de la pente externe des récifs de Tamandaré, de Maceiò, etc...

Dans tous ces cas on n'observe plus que quelques très rares colonies coralliennes, toujours de grande taille, les jeunes sont complètement absents, les seules petites colonies étant formées par reproduction asexuée ou de simples stades de dégénérescence de colonies plus anciennes. Les seules espèces prolifiques sont *Favia gravida, Porites branneri, P. astreoides, Siderastrea stellata* et, à un degré moindre, *Montastrea cavernosa* et *Agaricia agaricites;* les Millépores semblent eux aussi particulièrement tolérants; les *Mussidae* et les Gorgonaires apparaissent par contre sensibles.

A quoi est due cette faible vitalité des coraux le long des côtes du Nordeste; il paraît actuellement très difficile d'expliquer la mort de certains récifs comme celui d'Itaparica, situés apparemment dans des conditions de milieu favorables; d'autre part, devant la pente externe du récif de Tamandaré, nous avons observé des dalles de grès récentes, situées à trois ou quatre mètres de profondeur et ne montrant aucune trace de colonisation. Si l'on n'observait pas des bancs coralliens en voie de croissance (Base Aérienne) on pourrait être tenté de croire que l'édification des récifs du Nordeste n'est pas actuelle mais se serait effectuée au dernier interglaciaire par exemple. Sans nier la possibilité de l'existence d'un noyau ancien dans les récifs actuels il semble que cet appauvrissement soit cependant tardif et que les récifs aient connu une période de prospérité récente. Un certain nombre d'espèces ont vu leur aire de répartition géographique décroître dans des proportions notables depuis une époque qui n'est très ancienne. Le cas le plus significatif est la disparition progressive des *Vermetidae* le long des côtes brésiliennes (Kempf et Laborel, 1967); des lignes fossiles à base de ces Gastéropodes se trouvent en effet depuis Torres (Santa Catarina) au Sud jusqu'au Cabo São Roque (nous les étudierons de façon plus détaillée dans le chapitre consacré aux variations récentes du niveau marin); par contre, ces Invertébrés ne paraissent pas actuellement prospérer plus bas que Cabo Frio; la réduction d'aire est donc considérable (plusieurs centaines de kilomètres). De plus, même là où il y a encore des peuplements de Vermets, ceux-ci sont actuellement en cours de disparition, les *Petaloconchus,* autrefois très abondants, paraissant déjà pratiquement éteints alors que les *Dendropoma,* plus résistants sans doute, sont encore localement florissants. Nous avons donné dans l'article cité plus haut l'exemple extrêmement curieux des galets à Vermets de la lagune de Suapé : dans cette localité l'estran est couvert de boules de décomposition de granite provenant des assises du Cap Santo Agostinho; ces blocs ont été utilisés par les Portugais, au XVII[e] siècle, pour l'édification d'un fortin, le Pontale de Suapé : les blocs qui sont actuellement visibles, enchassés dans la maçonnerie de cet ouvrage, ont été utilisés tels quels, sans taille, par les bâtisseurs; on constate qu'ils sont littéralement emballés dans une gaine de Vermets (*Petaloconchus* surtout), parfaitement conservés et déterminables. Comme l'on connaît l'endroit exact où ces pierres ont été ramassées sur l'estran nous avons recherché des traces actuelles de Vermets dans cette localité, nous n'avons trouvé que quelques vestiges érodés sans le moindre concrétionnement actuel. Nous avons donc une date exacte qui montre à partir de

quel moment a pu commencer la disparition de ces Gastéropodes dans la région.

De la même façon nous avons signalé l'abondance extrême des débris de *Mussismilia harttii* sur certains récifs du Cap São Roque au Nord et dans la baie de Vitòria au Sud alors que cette espèce ne se trouve actuellement, dans ces deux régions, que sur les bancs du large entre 40 et 80 m. Il est évident qu'elle a dû être très abondante dans ces deux localités à une date récente : [5 520 ± 150 ans pour Vitòria (Gif 1 065)].

Tous ces phénomènes semblent montrer une dégradation rapide des conditions de milieu au Nord et au Sud de la région privilégiée des Abrolhos. A quoi peut-on attribuer cette évolution? Il semble que les causes soient multiples.

Tout d'abord plusieurs auteurs, en particulier Crossland (1928, 1931) et Nesteroff (1965 b) sur la base de nombreuses observations ont suggéré que nous traversions actuellement une période peu favorable à la vie corallienne. Une telle hypothèse paraît cependant être trop générale si l'on considère le nombre de régions (aux Abrolhos, dans les Caraïbes, à Tuléar etc...) où l'activité des Madréporaires est actuellement normale, voire intense. L'étude à l'échelle mondiale de cet appauvrissement demandera sans doute encore beaucoup de travail à de nombreux spécialistes car on ne peut rejeter à priori aucune hypothèse. En ce qui concerne les côtes brésiliennes nous pensons pouvoir présenter une explication, peut-être seulement partielle qui ferait appel à deux phénomènes distincts.

D'une part l'étude des lignes de Vermets (Van Andel et Laborel, 1964) nous a montré l'existence au Brésil d'une série d'oscillations du niveau marin en concordance assez exacte avec celles avancées par Fairbridge (1962) pour les côtes d'Australie. Il nous a également paru découler de l'étude des platiers actuellement émergeants à basse mer que ceux-ci ont émergé à la suite d'une baisse récente de niveau. Il y a donc eu vraisemblablement un maximum d'activité corallienne correspondant au haut niveau de 2,60 m (3 600 ans absolus) ; à ce maximum correspondrait l'édification de la plus grande partie des formations coralliennes actuellement observables. La forte oscillation négative qui a suivi ce mouvement aurait porté un coup sévère à la croissance des Madréporaires que les oscillations suivantes n'auraient pas complètement réparé. D'autre part l'émersion des platiers dans le Nordeste et sur les côtes de Bahia a déterminé, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, une avancée extrêmement nette des rivages sableux dans la direction des récifs qui, formant brise-lame, constituent un abri contre les

houles du large. Le comblement des lagons et de chenaux d'embarbarcation est en effet général dans toute la région étudiée. Les récifs ont donc vu disparaître une partie importante des peuplements coralliens de leur partie postérieure. Il nous a semblé afin que le comblement historique des innombrables canaux et lagunes qui existaient à l'époque de la colonisation dans les plaines littorales (dans la plaine de Recife en particulier) a dû, en supprimant une cause de décantation des eaux de rivière, augmenter fortement la turbidité. La déforestation qui sévit également sur une grande échelle dans toute la région côtière du Brésil tropical a dû encore aggraver la situation. Il n'est pas jusqu'à la pollution des cours d'eaux par les résidus des usines de sucres qui ne puisse être incriminée, à un moindre degré il est vrai. Actuellement les côtes du Nordeste sont longées par des eaux extrêmement turbides pendant au moins huit mois de l'année; il ne faut pas s'étonner si les récifs les plus florissants sont ceux qui en sont protégés, soit par leur éloignement de la côte, soit par des apports d'eau du large. Les récifs côtiers de Madréporaires seraient donc, finalement, en déséquilibre biologique sur une grande partie des côtes étudiées.

Chapitre IV

LES VARIATIONS RÉCENTES DU NIVEAU MARIN

Historique.

Nous avons, au cours des précédents chapitres, fait de fréquentes allusions aux modifications récentes du niveau marin le long des côtes brésiliennes et à leurs conséquences sur l'évolution de la structure et des peuplements des récifs coralliens. Ces variations ont été décrites par les anciens auteurs (Hartt, 1870, Branner, 1904) qui se basaient sur un certain nombre d'arguments : terrasses marines, falaises mortes, lagunes contenant des récifs morts, logettes d'*Echinometra* situées au-dessus de leur niveau biologique, etc... permettant de décrire un niveau supérieur à l'actuel de 2 à 3 mètres.

De nombreux auteurs modernes ont pu, non seulement confirmer les observations des anciens auteurs, mais encore les compléter et mettre en évidence de nouvelles lignes de rivage. C'est ainsi que Andrade (1958) et Ottmann (1963) signalent des témoins élevés de formations algales sur la côte au vent de l'« atoll » de Rocas et que les géomorphologues brésiliens (Bigarella, Salamuni et Marques, 1961; Bigarella, 1965; Bigarella et Andrade, 1965) décrivent des niveaux régulièrement échelonnés à 11-13 m, 7-8 m, 3 m et 1-1,5 m; attribuant les trois derniers à trois oscillations positives de la courbe de Fairbridge (1958), donc à des variations purement eustatiques du niveau marin, alors que d'autres (Grabert, 1960) invoqueraient, pour les expliquer, une surrection actuelle du socle.

En définitive, quelle que soit l'origine de ces variations récentes du niveau relatif des terres et de l'océan, elles n'en sont pas moins d'une grande importance et nous nous proposons de décrire et de discuter brièvement les évidences supplémentaires que nous avons pu tirer de l'observation des formations marines.

Sous-chapitre 1. *Les lignes de Vermets fossiles*

Il n'est pas nécessaire de présenter ici ces formations à base de Gastéropodes *Vermetidae* (appartenant en particulier au grand genre *Dendropoma*) qui se développent à peu près partout, en

région tropicale et subtropicale, en mode battu, à la limite supérieure de l'étage infralittoral; nous en avons décrit d'actuelles aussi bien dans ce travail que dans une note antérieure (Kempf et Laborel, 1967). Nous essaierons plutôt de montrer l'importance que peut présenter l'étude de leurs restes fossiles pour la détermination des niveaux récents.

a) *Avantages des Vermets pour l'étude des niveaux récents.*

Le niveau auquel se développent ces Mollusques est constant et peut être aisément reconnu, en l'absence de ces derniers, par l'étude de la zonation des peuplements superficiels (au Brésil il se situe immédiatement en dessous de la limite inférieure des *Tetraclita*). Il est donc facile de déterminer avec exactitude l'altitude de Vermets fossiles par rapport au niveau biologique actuel de l'espèce. De plus l'extension verticale du concrétionnement est faible (de l'ordre de 50 cm), surtout en mode peu battu. Enfin leur niveau biologique est situé assez près du niveau moyen de la mer pour que les objections faisant appel à une variation récente de l'amplitude de la marée au point considéré pour expliquer une ligne de Vermets fossile, soient sans fondement. Un peuplement dont le niveau serait situé par exemple en haut de l'étage médiolittoral ne présenterait pas ces avantages. En dernier lieu les conditions dans lesquelles se développent les Vermets (eaux océaniques chaudes fortement oxygénées, mode battu) sont, d'après Thommeret et Thommeret (1964, 1965), particulièrement favorables à une datation précise par la méthode du Carbone 14.

En somme l'étude des lignes fossiles de Vermets, partout où elles se rencontrent (et elles peuvent être passées inaperçues en de nombreux endroits), permettrait une précision supérieure à celle obtenue par l'étude des formes fossiles d'accumulation, terrasses marines et plages anciennes, tant du point de vue chronologique qu'altitudinal.

b) *Etude des lignes de Vermets fossiles sur la côte brésilienne. Coupe de Gaibù* (Van Andel et Laborel, 1964).

Le village de Gaibù se trouve sur la côte Nord du Cap Santo Agostinho, un peu au Sud de Recife (voir chapitre 4, s-ch. 5). La côte granitique est extrêmement battue, moins cependant que sur le flanc Sud du Cap. Des échantillons de calcaire à Vermets ont été prélevés pour datation à différents niveaux et dans différentes situations (sous des auvents rocheux pour les niveaux les

plus élevés, hors d'atteinte des hautes mers moyennes, et dans des fissures et des vasques pour les autres; ces derniers sont donc souvent recouverts par une couche actuelle de *Tetraclita* et de Mélobésiées susceptibles de fausser la datation (*fig.* 69 a). L'analyse du Carbone 14 effectuée par les soins de la Shell Development Company (Houston, Texas) a donné les résultats suivants :

Hauteur / formations actuelles (m)	Age absolu
1,40	1 750 ± 170
1,60	1 190 ± 130
2,20	2 790 ± 150
2,60	3 660 ± 170

Cette coupe, la première a avoir été étudiée, doit être considérée comme la coupe type pour la région; cependant nous avons pu mettre en évidence un certain nombre de différences avec des coupes effectuées par nous sur près de 3 000 kilomètres, que nous allons maintenant présenter rapidement.

ÉTUDE RÉGIONALE DES LIGNES DE VERMETS

— Région du Cap São Roque. — Des formations fossiles à Vermets s'observent sur l'estran à une hauteur de l'ordre de 50 cm au-dessus des formations actuelles. Au-dessus on n'observe aucune ligne plus élevée, l'érosion marine étant encore intense et les falaises actives dans la formation Barreiras; il s'agit de côtes à recul assez rapide et il est vraisemblable que les niveaux les plus élevés ont dû correspondre à une phase d'attaque intense qui n'a pas laissé de témoins.

— Fernando de Noronha et Rocas. — Aucune ligne fossile de *Vermetidae* n'a été observée dans l'Archipel de Fernando de Noronha malgré le grand développement actuel de ces Gastéropodes sur les rivages de ces îles. Par contre, nous avons déjà cité les importants témoins signalés sur la côte au vent de Rocas (2-3 m).

— Région de Recife. — En dehors de la coupe de Gaibù, des Vermets morts érodés s'observent sur la plupart des platiers coralliens (Rio Doce, Porto de Galinhas, Tamandaré, etc...) et gréseux (Piedade, Suape, Rio Formose) correspondant pour la plupart à un niveau de l'ordre de 0,50 m-1 m.

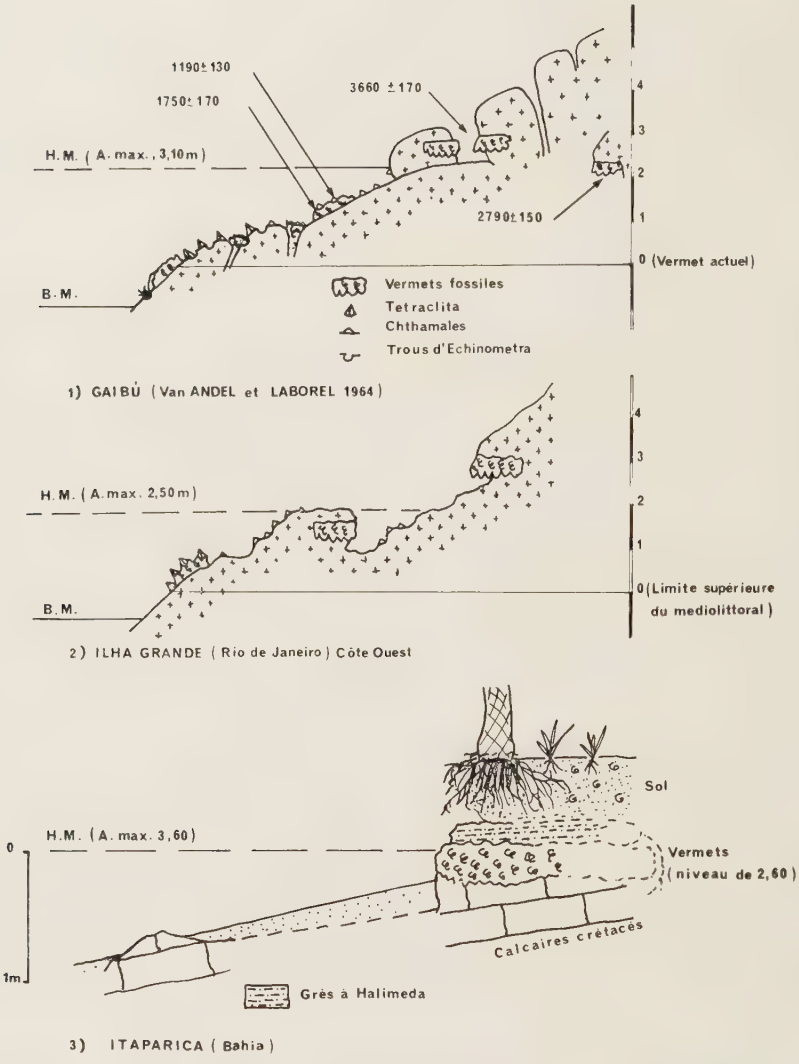


FIGURE 69. — Formation de *Vermetidae* fossiles.

1) Coupe de Gaibù (Van ANDEL et LABOREL, 1964). En mode très battu il est souvent difficile de séparer les niveaux. La figure est modifiée par rapport à l'original, l'échantillon daté de 2790 ans a été en effet prélevé à une certaine distance.

2) Coupe d'Ilha Grande, côte Ouest, le mode plus calme et l'absence totale de Vermets vivants permettent de séparer avec précision trois niveaux fossiles.

3) Coupe de la Pointe Penha (Ile d'Itaparica, Bahia). L'érosion marine actuelle dégage à marée haute des pointements rocheux recouverts par une plantation de cocotiers. Ces blocs portent des Vermets correspondant au niveau de 2,60 m; ils sont recouverts d'une carapace mince d'un grès organogène à articles d'*Halimeda*.

— Région de Salvador. — Des restes à 50 cm-1 m sur les pointements rocheux du phare d'Itapoà; de très belles formations entre 2,50 et 3 m à la pointe Penha (Ile d'Itaparica), (*fig.* 69 c).

— Archipel des Abrolhos. — Pas de Vermets fossiles observés mais nous n'avons pu effectuer qu'une recherche sommaire.

— Région de Vitòria do Espiritu Santo. — Niveaux à 2-3 m et 3-4 m (fissures) à la pointe do Chavão, près de Vitòria, mode très battu.

— Côtes de l'Etat de Rio de Janeiro, Cabo-Frio. — Lignes à 0,50-1 m et 1,50-2 m particulièrement nettes dans la petite baie dite Enseada do Forno (Arraial do Cabo); beau niveau de 2,50-3 m à la Punta do Pai Vitorio, près de Buzios; sur l'Ilha do Pai, un peu plus au Sud, niveaux 0,50-1 m et 2-3 m bien développés. Sur les flancs du Pão de Açucar également. Enfin dans la grande baie d'Angra dos Reis, sur les rives des nombreuses Iles (Ilha Grande, Ilha da Gipoia, etc...) nous avons trouvé les trois niveaux parfaitement délimités; nous en donnons une coupe (*fig.* 69 b) effectuée sur la face Ouest d'Ilha Grande sur une pointe rocheuse à mi-chemin entre Abraão et Sitio Forte :

Échantillon	Date	Altitude
Gif 1059	3 420 ± 110 ans	2,50 - 3 m
Gif 1060	1 670 ± 100 ans	1,50 - 2 m
Gif 1061	380 ± 90 ans	0,50 m

DISCUSSION

Les principaux niveaux observés sont donc les suivants :

0,50 - 1 m
1,50 - 2 m
2,50 - 3 m.

Partout où plusieurs niveaux s'observent simultanément ils sont généralement très faciles à séparer les uns des autres.

D'autre part le mode très battu et la présence de fissures (Gaibù, Ponta do Chavão) entraînent une remontée locale des Vermets fossiles pouvant atteindre un mètre, en mode calme, au contraire, les niveaux sont toujours aux trois côtes citées plus haut.

Les formations les plus élevées sont généralement situées hors d'atteinte des hautes mers moyennes, sauf lorsque l'amplitude maximale de la marée dépasse 3,50 m (Itaparica, Bahia). Elles sontalors d'autant mieux conservées qu'elles sont mieux abritées des eaux de ruissellement (surplombs rocheux).

Sous-chapitre 2. *Les récifs morts et les témoins coralliens des platiers*

Bien que nous en ayons décrit ou signalé un certain nombre, il est impossible, dans le cadre de ce travail, de donner une étude détaillée de tous les récifs coralliens actuellement morts et érodés. On observe en effet très souvent, à l'intérieur de la ligne des récifs actuels, des platiers morts, fortement noircis et érodés, situés souvent dans l'estuaire d'un fleuve côtier ou couverts par les sédiments. De nombreux cas ont été signalés par Branner et par Hartt, en particulier dans les régions de Maceiò et Santa Cruz; la fameuse formation corallienne de la lagune de Itahype (Spix et Martius, 1828) entre également dans cette catégorie; nous avons pu, au cours de notre rapide passage à Ilheus nous procurer des échantillons de *Mussismilia braziliensis* en provenance de cette formation. Leur âge est de 4070 ± 140 ans (Gif 1064).

L'altitude de ces platiers est toujours très faible (aucun ne s'élève au-dessus du niveau des pleines mers), et il n'est pas possible d'évaluer avec précision une éventuelle différence de niveau entre eux et leurs homologues de la ligne externe, d'autant plus qu'ils ont été fortement érodés; il semble donc que leur étude soit moins prometteuse que celle des lignes de Vermets étudiées au paragraphe précédent.

Une série de datations des formations les plus internes serait cependant d'un grand intérêt car il n'est pas impossible que les plus anciennes soient antérieures à la dernière glaciation.

Nous avons décrit (chapitre 4, s.-ch. 4 et chapitre 5, s.-ch. 3) des témoins coralliens en saillie sur les platiers érodés des récifs de Rio Doce et d'Itaparica. Ces colonies coralliennes (*Montastrea, Siderastrea, Mussismilia*) doivent être considérées comme des preuves valables d'oscillations répétées du niveau marin; si l'on admet que le récif s'est, comme nous le pensons, développé lors d'un niveau élevé, puis, après avoir atteint sa hauteur maximale, a été mis à découvert et érodé à la suite d'un mouvement négatif, la présence de colonies en fort relief sur cette surface ancienne

s'expliquerait par une seconde oscillation positive suivie d'un retour au niveau actuel (KUENEN, 1933).

La figure 70 montre la position des témoins datés :

Montastrea arrière platier (Gif 1062) 3100 ± 120
Siderastrea platier moyen (Gif 1066) 1830 ± 110
Algal ridge (Gif 1063) 390 ± 90

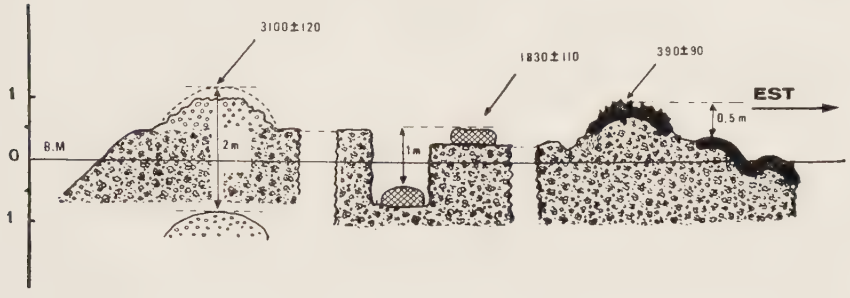


Fig. 70

On remarquera la correspondance parfaite avec les niveaux d'Ilha Grande situés à plus de 3 000 km au Sud de cette localité.

Sur le plan altitudinal nous avions également déduit avant l'obtention de ces résultats, que les témoins de Montastrea et de Siderastrea devaient correspondre à 2 niveaux distincts; la datation confirme nos vues sur ce point.

Sous-chapitre 3. *Les « arrecifes »*

DISPOSITION

L'étude aérienne et sous-marine des formations gréseuses nous a permis de compléter les données de HARTT et de BRANNER; comme nous l'avons signalé plus haut, la disposition et la profondeur des bancs de grès restent constantes dans toute la région étudiée.

Nous donnons un relevé provisoire des différents arrecifes, mais leur étude de détail est encore à faire.

Tout d'abord il semble que les auteurs récents aient eu tendance, sur la foi des cartes marines, à exagérer le nombre des lignes d'arrecifes au large de la plage; en fait si l'on estimait que des

bancs de grès pouvaient, entre Recife et Maceio, empêcher la navigation jusqu'à une dizaine de milles au large (ancienne carte brésilienne Cabo Branco-Maceio), les nouveaux sondages effectués en 1964-65 par la Marine brésilienne montrent des fonds de 20 à 30 mètres, uniformes et sans aucun écueil à partir d'un mille au large à peu près. Le tableau suivant résume nos connaissances actuelles (les niveaux étant donnés par rapport au zéro des cartes). Les bancs sont cités par hauteur décroissante de la terre vers le large.

Niveau approché sup.	inf.	
±2 m	— 0	Ligne L_1,(composite, souvent recouverte par les dunes
+1,50	— 1 m	Ligne L_2, idem., la seule datée (Piedade)
—0,50	— 3 m	Ligne L_3, toujours simple
—4-6 m	— 8 m	Sporadique (Tamandaré, Recife?) peut porter des récifs
—10 m ?	?	Base de la plupart des récifs coralliens du Nordeste
—20 m —30 m		Nature douteuse, car couverte de Mélobésiées

La distance horizontale entre les différents bancs est extrêmement variable, les plus proches les unes des autres étant les trois lignes superficielles, souvent plus ou moins superposées.

Quant à l'épaisseur de ces formations, les seuls sondages anciens dont nous disposons (Hawkshaw, 1879) ont montré qu'elle ne dépassait pas quelques mètres et que les grès reposaient directement sur des sables non consolidés, deux dalles s'observant même parfois séparées par une couche sableuse.

ORIGINE

Nous nous bornerons à un simple rappel des différentes théories invoquées successivement pour expliquer le dépôt de ces formations. Darwin (1841) les attribue déjà à la consolidation d'une plage sableuse. Hartt (1870) pense que le calcaire qui en constitue le ciment provient, par lessivage, des fragments organogènes calcaires inclus dans les sédiments de la haute plage.

Branner (1904) remarque, à juste titre, que « les récifs de grès se forment là où des cours d'eaux, des lacs ou de l'eau douce sont

contenus, en totalité ou en partie, par des plages sableuses », ceci expliquerait donc l'absence de récifs de grès sur les côtes les plus sèches du littoral brésilien et leur grande abondance dans les régions les plus humides. Cet auteur insiste également sur la forte teneur en carbonates des eaux marines.

Pour Ottmann (1960) les arrecifes sont de basses plages consolidées au cours de stades d'arrêts successifs d'une mer en régression, les dunes situées en arrière de ces plages auraient été ensuite déblayées lors de la transgressions suivante, car, pauvres en calcaire, elles n'auraient pu se consolider.

Mabesoone (1964) rattache également les récifs aux « beach-rocks », pour cet auteur il s'agirait d'un phénomène récent, qui se continuerait actuellement; pour lui, comme pour Delaney (1965) la consolidation des sédiments de plage se produirait dans la zone de contact entre les eaux de la nappe phréatique et les eaux marines, cette zone de contact oscillant avec la marée, ce qui rendrait compte de la localisation du phénomène à la partie inférieure de l'estran. Ces vues confirment parfaitement la remarque de Branner; nous pensons qu'elles rendent compte du phénomène de façon satisfaisante.

Nous avons pu, d'ailleurs, après Mabesoone, observer des grès au cours de cimentation, ceux-ci englobaient en effet les blocs de granit d'un enrochement construit au siècle dernier pour protéger la petite église de Piédade. En arrière de la dune s'observe à cet endroit une zone marécageuse qui représente un diverticule d'une ancienne lagune.

D'autres phénomènes de consolidation ont été signalés dans la région de Recife; c'est ainsi qu'Ottmann (1965) décrit sur l'estran de l'embouchure du Rio Jaboatão (Barra das Jangadas), au Sud de Recife, des grès à racines dont le ciment provient de la dissolution du calcaire dans les couches supérieures sous l'action des eaux de pluie et de la nappe phréatique; ces grès à tubulures sont cependant déposés à un niveau altitudinal supérieur à celui des grès d'« arrecife »; ils sont à rapprocher du « cay sandstone » décrit par Kuenen (1933). Quant aux phénomènes de consolidation par évaporation et remontée de l'eau de mer par capillarité à travers les sables (mer Rouge), ils ne semblent pas se produire, les conditions locales (climat humide, amplitude de la marée assez importante) étant trop différentes de celles dans lesquelles ils ont été observés; il serait enfin intéressant d'essayer de mettre en évidence le rôle des Bactéries dans la cimentation des beach-rock brésiliens (Nesteroff, 1956).

Chronologie des lignes d'arrecifes

La plupart des auteurs sont d'accord sur la grande jeunesse de ces formations, Mabesoone (1964) les considère comme Holocènes, seuls les plus élevés pouvant être Pleistocènes; pour Tricart (1959) les plus élevés seraient Dunkerkiens. De plus l'âge relatif des différents bancs n'est pas aisé à fixer; s'il s'agissait de bancs déposés au cours d'une transgression les plus élevés seraient naturellement les plus récents, l'inverse étant vrai s'ils avaient été formés lors d'une régression. La datation des grès, d'ailleurs délicate car on ne peut actuellement dater que les coquilles incluses dans la formation, est le seul moyen de résoudre le problème.

Nous avons pu obtenir, grâce à l'extrême gentillesse de M. T. Van Andel, une date pour un échantillon de l'arrecife de Piétade, récolté par nous sur la ligne externe (L_2) (*fig.* 26 b). L'âge absolu des coquilles d'*Anomalocardia* est de 5 900 ± 300 ans (datation par le La Jolla Radiocarbon Laboratory, éch. L. J. 1367). L'âge flandrien très récent de cette formation est donc confirmé, quant à l'altitude du dépôt, elle est supérieure de près de un mètre à celle à laquelle se produit actuellement la grésification des sables de plage. On notera que la date obtenue se situe dans la phase finale de l'oscillation « Older Peron submergence » de Fairbridge, et est antérieure à celle des lignes de Vermets de 2,60 m. La formation de récifs de grès pendant une pulsation transgressive paraît en désaccord avec l'hypothèse d'Ottmann (1960); on peut toutefois remarquer que, comme le pensait déjà Andrade (1955, thèse présentée à Recife), les bancs se sont formés pendant des phases d'arrêt ou de léger recul de la transgression.

Il est encore trop tôt pour tirer de cet unique résultat des conclusions sur l'âge des divers arrecifes, on ne peut même pas, à notre avis, déduire leur âge relatif de leur position les uns par rapport aux autres, sauf bien entendu, lorsque l'on observe plusieurs lignes superposées; la ligne L_3 par exemple peut aussi bien s'être formée avant L_2 que pendant une oscillation négative ultérieure.

La solution du problème ne pourra être apportée que par une étude détaillée avec de nombreux prélèvements à l'explosif, seule façon de se procurer des passées coquillères dans des bancs de grès déjà plus ou moins recouverts de coraux et de Mélobésiées; une telle étude n'était, bien sûr, pas dans nos possibilités, sans parler des forages qui devraient également être entrepris dans les récifs coralliens émergeants pour les dater, eux et la ligne de grès sur laquelle ils s'appuient. Il paraît en tout cas à peu près certain que les arrecifes les plus près de la surface sont tous récents.

TABLEAU COMPARATIF

N°	Référence	Age mesuré	Niveau marin	Échantillon	Localité
1	Gif 1061	380 ± 90	0,5 ± 0,5	Vermets	Ilha Grande
2	Gif 1063	390 ± 90	0,5 ± 0,5	Mélobésiées	Recife
3	Shell A 17	1 190 ± 130	1,6 ± 0,5	Vermets	Gaibu
4	Gif 1060	1 670 ± 100	1,5 ± 0,5	Vermets	Ilha Grande
5	Shell A 21	1 750 ± 170	1,4 ± 0,5	Vermets	Gaibu
6	Gif 1066	1 830 ± 110	1 +	Coraux	Recife
7	Shell A 16	2 790 ± 150	2,2 ± 0,5	Vermets	Gaibu
8	Gif 1062	3 100 ± 120	2 +	Coraux	Recife
9	Gif 1059	3 420 ± 110	3 ± 0,5	Vermets	Ilha Grande
10	Shell A 22	3 660 ± 170	2,1 ± 0,5	Vermets	Gaibu
11	Gif 1064	4 070 ± 140	1 +	Coraux	Itahype
12	Gif 1065	5 520 ± 150	0 +	Coraux	Vitoria
13	LJ 1367	5 900 ± 300	1 ± 1	Grès coquiller	Recife

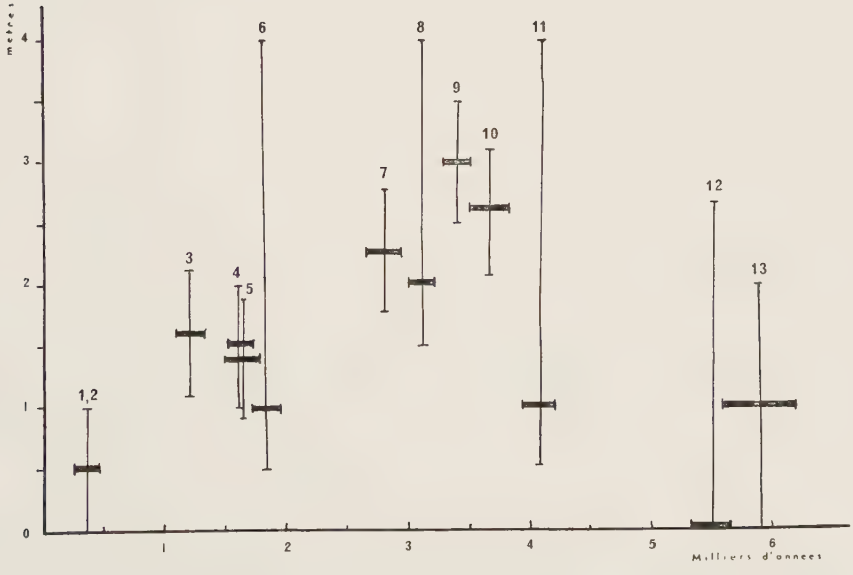


FIG. 71

Stabilité de la côte brésilienne

La complication des niveaux observées pose évidemment un problème, celui de leur origine. Doit-on, avec beaucoup d'auteurs modernes il est vrai, accepter l'idée d'oscillations récentes d'origine eustatique? Que doit-on penser de la stabilité de la côte brésilienne? Un exhaussement régulier du rebord du continent suffirait-il à expliquer l'ensemble des phénomènes que nous venons d'étudier? Nous ne pensons pas pouvoir apporter personnellement de réponse à ces questions.

Remarquons seulement que le bouclier brésilien, malgré les lentes déformations qui l'ont affecté au Crétacé et au Tertiaire (Dresch, 1957) et les cassures observées dans la région orientale (Tricart, 1959, Grabert, 1960), a la réputation d'être stable à l'échelle des derniers millénaires; d'autre part la concordance de nos résultats (et de ceux de Bigarella, obtenus par d'autres méthodes) avec la courbe de Fairbridge est assez troublante. Une meilleure indication est donnée par la généralisation des datations à l'ensemble du littoral : les âges et les altitudes des Vermets semblent correspondre sur l'ensemble de la côte. Si la datation des « arrecifes » met en évidence des oscillations négatives alternant avec des pulsations transgressives, il deviendra difficile d'admettre que le bouclier brésilien ait pu, en si peu de temps, effectuer sans déformation et sans cassure des mouvements aussi compliqués. Nous préférons cependant laisser la question ouverte.

Chapitre V

ESSAI DE RECONSTITUTION DES PHÉNOMÈNES RÉCIFAUX RÉCENTS

Sous-chapitre 1. — *Récapitulation des bases*

Les chapitres précédents nous ont montré que l'on peut tenir comme valables les propositions suivantes :

1) Des récifs se sont maintenus, sans interruption, pendant les époques de bas niveaux glaciaires, dans la région des Abrolhos et sur les bancs au large de la côte d'Espiritu Santo.

2) Le repeuplement corallien du Nordeste parait s'être effectué tardivement à cause de la barrière du Rio São Francisco.

3) Des récifs se sont édifiés sur des bancs de grès pendant la transgression et sont donc postérieurs à ces derniers, mais l'âge réel de ces bancs est inconnu.

4) Au maximum de la transgression la mer a atteint, une ou plusieurs fois de suite, une hauteur relative de près de 3 m au-dessus du niveau actuel.

5) Les « arrecifes » superficiels se sont formés à la fin de la transgression.

6) L'émersion des platiers coralliens est postérieure à la consolidation des « arrecifes » littoraux; en effet cette émersion a déterminé une avancée de la plage par dessus les « arrecifes » en direction des platiers. (Récifs de Candeias, Itacolumis, etc.)

7) Les Madréporaires sont en net déséquilibre sur tous les récifs côtiers.

De ces bases nous pouvons tirer les schémas régionaux suivants.

Région des Abrolhos.

Lors de la remontée du niveau marin des coraux s'installent immédiatement sur les substrats disponibles, les récifs actuels s'établissent donc, soit *de novo,* soit sur les restes érodés de récifs plus

anciens qui avaient été exondés pendant les bas niveaux; cette deuxième éventualité semble d'ailleurs très probable, n'oublions pas en effet que la couche de Madérporaires récents sur certains atolls du Pacifique, où la vie corallienne est plus intense que sur les côtes brésiliennes, ne mesure pas plus de quelques mètres d'épaisseur (Lalou, Labeyrie et Delibrias, 1966) et que, en l'absence de récifs fossiles observables à la côte, il faut bien admettre qu'il y en a eu quelque part.

L'absence de lignes fossiles de Vermets, le très faible développement du platier dans le Parcel dos Abrolhos, la faible élévation de celui du Parcel das Paredes laissent entendre que, peut-être, la stabilité n'a pas été totale dans cette région, des études géophysiques seraient nécessaires pour connaître l'épaisseur véritable des récifs en dessous du fond actuel et pour établir s'il y a eu ou non affaissement. Cependant, dans cette région comme plus au Nord, l'émersion des platiers est plus récente que la formation des arrecifes; la formation de la pointe Corumbau, par dessus un banc de grès, en direction du récif des Itacolumis (Ch. 5) en est la preuve. En même temps que le niveau redescend la turbidité augmente près de la côte et seuls les récifs situés au large demeurent actifs, tous les petits massifs coralliens côtiers sont tués ou mis en veilleuse. Il est vraisemblable que le rétrécissement de l'aire géographique de certaines espèces (*Mussismilia harttii* par exemple) est postérieur à la baisse du niveau. Les côtes prennent leur aspect actuel.

Région du Nordeste

Le repeuplement corallien ne se fait que tardivement et les dalles (gréseuses ou d'une autre nature) situées à plus de 20 m de profondeur ne sont pas couvertes de Madréporaires constructeurs. Le même problème se pose que dans la région précédente, en ce qui concerne l'âge des récifs, s'agit-il de formations anciennes sur lesquelles est venue se plaquer une mince couche de coraux récents, ou ceux-ci constituent-ils, au contraire, la totalité de l'édifice observable? Certains faits sont assez troublants, par exemple la présence, en avant du récif corallien de Tamandaré d'une dalle de grès à — 4, — 6 m, non recouverte par les coraux; pourquoi les Madréporaires se seraient-ils développés sur la dalle qui sert actuellement de base a urécif et pas sur l'autre, située immédiatement en avant du récif et à faible profondeur? ou bien cette dalle était recouverte de sédiments au moment de l'édification du récif, ou bien elle lui est postérieure. De même, la position des

arrécifes de la plage de Cacimbas (Ch. 4, s. ch. 6, paragraphe *f*, *fig.* 27 et 34) parait curieuse; les arrecifes se recourbent, en effet, en direction du récif corallien de la pointe Serramby, (disposition jamais observée dans le Nordeste), il faut en déduire qu'au moment de la formation des arrecifes, il existait un pointement émergeant, rocheux ou corallien mort, sur l'emplacement du récif actuel. Il s'agit, il est vrai, d'une région ou la topographie littorale est compliquée par des affleurements cristallins ou éruptifs (Ilha de Santo Aleixo, Pedra Do Conde, etc...) ce qui explique le grand nombre de lignes de grès observées et leur décalage très net les unes par rapport aux autres, alors que dans la région de Recife, au contraire, elles sont le plus souvent superposées ou serrées les unes contre les autres (comparer par exemple la figure 26 a, avec les arrecifes de Cacimbas représentés *fig.* 27). Nous ne pouvons donc affirmer avec certitude que les récifs coralliens du Nordeste sont entièrement récents.

Cependant, comme dans la région des Abrolhos la période de croissance maximale des Madréporaires se situe au moment du niveau de 2,50 - 3 m (marqué par les lignes de Vermets) et l'émersion de la majorité des platiers, tout de suite après, lors de la baisse de niveau. L'absence de formations coralliennes au large, l'abondance des cours d'eau côtiers, ainsi que la déforestation qui a marqué la période historique ont entraîné la mort d'une grande partie des populations coralliennes, relayées dans la majorité des cas par les Mélobésiées encroûtantes. La forte turbidité serait aussi responsable de la disparition progressive des Vermets.

Région du Cap São Roque.

C'est dans cette région que se situent les formations coralliennes les moins épaisses et les plus récentes; les hauts niveaux ont entraîné une attaque considérable de la côte (qui n'est pas terminée actuellement) au cours de laquelle les falaises sédimentaires des « Barreiras » ont reculé de plusieurs kilomètres, laissait à nu des couches durcies, latéritiques, appartenant à la base de ces formations. Ce sont ces pointements rocheux qui constituent à très faible profondeur, (vraisemblablement 6 à 8 m seulement) le soubassement des récifs de la région du Cap São Roque; ceux-ci ne se sont donc développés que très tardivement, postérieurement au niveau de 2,60 - 3 m, ce qui explique leur aspect moins différencié et l'absence d'un platier continu.

Les Iles océaniques

Il est vraisemblable que les conditions de milieu ont dû rester favorables au développement des Madréporaires aussi bien à Fernando de Noronha qu'à Rocas, ainsi que sur les bancs au large des côtes du Ceará, mais la richesse faunistique plus faible du peuplement corallien et le mode trop battu ont empêché la formation de véritables récifs. Cependant de très belles formations de Mélobésiées et Vermets ont édifié Rocas, formant des assises dont nous ignorons l'épaisseur (qui n'est vraisemblablement pas supérieure à quelques dizaines de mètres).

Un tableau résume l'évolution des récifs du Nordeste et des Abrolhos.

Région	Forme	Épaisseur	Platier	Base	Observations
Abrolhos	elliptique	20-25 m	oui (Paredes)	?	Crête algale peu développée — pinacles fusionnés
Nordeste, Santa-Cruz	linéaire	10 m	oui	ligne de grès	Crête algale très développée — surplomb d'arrière récif
Cap Sao Roque	elliptique	5-8 m	non	Affleurement latéritique	Pinacles isolés coiffés de Vermets et Mélobésiées
Fernando de Noronha		quelques mètres	non	éruptif	Simples pinacles entre 15 et 20 m + récifs de Vermets
Rocas	annulaire lagon peu profond	? inconnue	oui	éruptif	à base de Vermets et Mélobésiées

Tableau récapitulatif des récifs brésiliens

Sous-chapitre 2. — *Classification morphologique des récifs brésiliens*

Tous les récifs brésiliens entrant sans exception dans une seule grande catégorie, celle des récifs de plate-forme (Wells, 1957) ou platures coralliennes (Guilcher, 1955) (nous n'avons pas adopté le terme « banc corallien », synonyme du précédent d'après cet auteur, nous l'avons réservé aux formations non émergeantes). L'« atoll » de Rocas, très distinct des autres formations par sa nature et sa situation, entre, d'après Ottmann (1963), dans la catégorie des « récifs annulaires à lagon peu profond ». L'épaisseur maximum des récifs se trouve dans la région des Abrolhos où la hauteur du platier au-dessus du fond est de l'ordre de 25 m. Dans le Nordeste elle est de l'ordre de 10 m seulement et de 5 m dans le Rio Grande do Norte. La forme en plan des récifs dépend essentiellement du substrat; elliptiques sur pointements rocheux, ils sont linéaires sur bancs de grès dans le Nordeste. La crête algale est également très répandue.

CONCLUSIONS

Les côtes tropicales du Brésil ont été étudiées par nous depuis la région de Fortaleza (Ceara) au Nord, jusqu'à celle de Santos (São Paulo), au Sud, soit plus de 3 500 km dans le cadre d'une étude générale des peuplements coralliens et des récifs qu'ils constituent. Aucune étude d'ensemble sur ce sujet n'avait été effectuée depuis le début du siècle.

Nous avons constaté que la répartition géographique des espèces dans les groupes considérés (Madréporaires, Gorgonaires et Hydrocoralliaires) n'était pas la même sur les récifs et, plus profondément sur la partie moyenne de la plate-forme.

Sur les récifs, et à faible profondeur on observe, du Nord au Sud:

a) *Une région septentrionale d'appauvrissement,* du Maranhão au Rio Grande do Norte, dans laquelle la seule espèce constructrice est *Siderastrea stellata* VERRILL, accompagnée de quelques rares formes très tolérantes à la turbidité. Il ne semble se former, dans cette région, que des bancs n'atteignant pas la surface.

b) *Autour du saillant du Cap São Roque,* une série de récifs, de grande extension se développe au large de la côte; la plupart n'avaient fait l'objet d'aucune étude. Ce sont des constructions récentes, très minces (5 à 6 m), sans platier défini, formées de pinacles constitués par un très petit nombre d'espèces, Millepores et *Siderastrea* surtout, ces pinacles sont coiffés par une croûte de Mélobésiées et de Vermets (*Dendropoma*). Certains « récifs » enfin sont de simples bancs appuyés sur des formations rocheuses émergeantes.

c) *Dans les îles océaniques que nous avons pu visiter, Fernando de Noronha et Rocas,* il n'y a pas de formations récifales véritablement coralliennes mais la faune de Madréporaires, plus riche, comprend une dizaine d'espèces qui forment entre la surface et une quinzaine de mètres des peuplements assez denses bien que non constructeurs. Au-dessous de 15 mètres, dans des eaux moins agitées, se développent des pinacles de *Montastrea cavernosa* (LINNÉ); enfin sur la côte au vent de Fernando de Noronha, on observe de luxuriantes formations à Vermets et Mélobésiées qui constituent d'ailleurs le récif de Rocas dans sa totalité.

d) *De Natal à l'embouchure du Rio São Francisco,* on assiste à un net enrichissement de la faune par rapport à la région du Cap São Roque. Les récifs, très nombreux, surtout entre Recife et Maceió, sont linéaires, basés sur des lignes de grés situées à la profondeur assez uniforme d'une dizaine de mètres, d'autres récifs, de grés, (décrits par Branner, 1904), disposés le long des plages et devant les embouchures des cours d'eaux se disposent avec les précédents d'une façon périodique que nous avons décrite dans une note préliminaire (Laborel, 1965).

Les récifs possèdent, en général, un platier émergeant bien développé, érodé, et portant une crête algale à Mélobésiées et *Dendropoma* et des témoins coralliens qui indiquent l'existence de niveaux marins récents supérieurs au niveau actuel. Des bancs coralliens s'observent aussi entre Recife et Maceió. La zonation biologique des récifs comprend trois zones superposées sur la pente externe qui sont, de haut en bas, une zone à *Millepora alcicornis* Linné, puis une zone à *Mussismilia harttii* (Verrill) et enfin une zone à *Montastrea cavernosa* (Linné). Les Gorgonaires sont particulièrement peu abondantes, à part *Muriceopsis sulphurea* (Donovan) et quelques *Plexaurella.* Le platier ne porte que deux espèces de Madréporaires, *Favia gravida* Verril et *Siderastrea stellata* Verrill, la partie antérieure, qui porte la crête algale, est couverte de plaques de *Palythoa.*

Les peuplements qui se développent en arrière du récif, en mode calme, sont, quand l'envasement n'est pas trop fort, assez riches, formant des pinacles en fort surplomb, sous ces derniers se déevloppe le *Mussidae Scolymia wellsi* Laborel.

On n'observe pas de peuplements coralliens sur plus de cent kilomètres au Sud de l'embouchure du Rio São Francisco; ce fleuve a donné naissance à une véritable « écharpe sédimentaire », étalée du Nord au Sud, qui constitue une importante barrière biologique pour certaines espèces de Madréporaires.

e) *La région de Salvador et des côtes de l'état de Bahia,* qui englobe les récifs des Abrolhos se caractérise par l'apparition de trois espèces endémiques : *Mussismilia braziliensis* (Verrill), *Favia leptophplla* Verrill et *Millepora nitida* Verrill, trois autres espèces : *Stephanocoenia michelini* Milne Edwards et Haime, *Meandrina braziliensis* (Milne Edwards et Haime) et *Madracis decactis* (Lyman) se trouvent également sur les récifs alors que dans la région précédente ils ne se rencontraient que dans les peuplements de la plate-forme, entre 30 et 70 m. *Mussismilia*

braziliensis (VERRILL) est, dans toute cette région, la principale espèce constructrice.

L'épaisseur des récifs, elliptiques et basés sur des affleurements rocheux (vraisemblablement de roches sédimentaires crétacées), dépasse une vingtaine de mètres; le plus grand, le Parcel das Paredes, possède un platier étendu, prolongé vers le large par une large zone de pinacles anastomosés; le Parcel dos Abrolhos, lui, dépourvu de platier émergeant et uniquement formé de pinacles ou « chapeirões », est le plus riche de tous les récifs brésiliens, le seul en particulier où l'on trouve sous les surplombs *Agaricia fragilis* (DANA). Les récifs disparaissent au Sud des Abrolhos.

f) *Les embouchures des Rios Mucury, São Mateus et Doce,* constituent une barrière biologique aussi efficace que celle du São Francisco, et qui semble au moins en partie responsable du fort appauvrissement des peuplements coralliens sur les côtes d'Espiritù Santo. A partir de Cabo Frio, de plus, intervient l'action limitante des eaux froides (upwelling de Cabo Frio); cependant, dans des baies protégées et peu profondes s'établissent de véritables « oasis coralliennes » dont les plus notables se situent dans la région de Cabo Frio (Arraial do Cabo, Buzios) et dans la Baie d'Angra dos Reis et le Canal de São Sebastião. Les derniers Madréporaires, réfugiés dans les eaux chaudes très superficielles semblent disparaître au Sud de São Sebastião.

En profondeur, au-delà de la zone récifale proprement dite, entre 30 et 90 mètres on observe sur toutes les côtes étudiées, de Maranhão à Cabo Frio, une grande population corallienne très homogène qui n'est pas soumise à l'appauvrissement constaté précédemment pour la faune récifale. Cette population, qui correspond à des fonds circalittoraux à Mélobésiées comparables au « coralligène de plateau » méditerranéen comprend un intéressant mélange de formes récifales typiques (*Siderastrea, Porites, Stephanocoenia, Montastrea, Mussismilia, Millepora*), d'espèces que l'on est bien obligé de qualifier d'hermatypiques sciaphiles (*Agaricia fragilis* (DANA), *Scolymia*) et de Madréporaires ahermatypiques : *Madracis scotiae* GARDINER, *M. asperula* MILNE EDWARDS et HAIME et *M. pharensis* (HELLER). Au-delà de cette zone commencent des peuplements à Madréporaires profonds.

Les affinités de la faune corallienne brésilienne sont nettement caraïbes, sauf pour les espèces les plus photophiles qui se trouvent contenir un très fort pourcentage d'endémiques à affinités miocènes ou indo-pacifiques, témoignant d'une séparation très ancienne; des rapports, plus difficiles à définir, existent également avec la faune

Ouest africaine. Pendant les périodes de bas niveau correspondant aux maximum de glaciation il apparaît certain, d'après les observations précédentes que des récifs sont demeurés actifs le long des côtes brésiliennes; la répartition actuelle des espèces et l'étude de la plate-forme laissent entendre que la principale zone de conservation a été la région des Abrolhos et les bancs situés au large des côtes d'Espiritù Santo. A un moindre degré ont pu subsister des populations moins riches autour des îles océaniques de Fernando de Noronha et Rocas; l'étude des récifs fait apparaître que la région du Nordeste ne s'est repeuplée que tardivement lors de la transgression flandrienne, en effet les substrats durs de la plate-forme situés au large des récifs actuels, entre 20 et 30 m n'ont pas été peuplés par les Madréporaires, les derniers peuplés ont été les récifs du Cap São Roque.

Les régions biologiques brésilienne tropicale et caraïbe apparaissent symétriques par rapport à la région guyanaise; de même la répartition des Gorgonaires fait apparaître une parenté entre les côtes méridionales brésiliennes (São Paulo) et celles des Carolines et du Golfe du Mexique.

Nous avons comparé la zonation des récifs brésiliens avec celles de leurs homologues caraïbes et pacifiques : la présence d'un « algal ridge » et leur platier élevé les séparent des autres récifs atlantiques mais la zonation biologique est proche de celle des Bermudes, autre région à faune appauvrie. L'absence des *Acropora* a fortement marqué la physionomie et la structure des récifs brésiliens, surtout en ce qui concerne la partie supérieure de la pente externe et le platier.

Nous avons enfin étudié les variations récentes du niveau relatif de la mer, décelables par des lignes fossiles de Vermets, qui étaient jusqu'à présent passées inaperçues et que nous avons pu suivre sur plusieurs milliers de kilomètres et dater; l'étude des « arrecifes » fournit également des données, bien que d'interprétation plus délicate.

Les conséquences de ces variations de niveau (d'origine peut-être eustatique) ont été considérables pour les peuplements coralliens et pour les peuplements coralliens et pour l'évolution morphologique des récifs et même du littoral. En effet, le retour au niveau actuel s'est produit (vraisemblablement par l'intermédiaire de plusieurs oscillations) après une période de très forte connaissance corallienne et a provoqué l'émersion de la plupart des platiers (à l'exception de ceux de la région du Cap São Roque, qui sont plus récents); cette émersion a déterminé une avance du rivage en direction des récifs, l'envasement des chenaux d'embarcation et la mort d'une grande partie des populations coralliennes. Parallèle-

ment, au cours des temps historiques, l'influence de la déforestation de l'intérieur, génératrice de forte turbidité littorale, a poursuivi l'œuvre de la baisse de niveau : certaines espèces ont vu leur aire géographique se restreindre considérablement, d'autres comme les Vermets paraissent en voie d'extinction depuis le XVII[e] siècle. Les récifs brésiliens côtiers sont actuellement en déséquilibre et l'action protectrice des Mélobésiées, qui est considérable, contribue à les maintenir biologiquement actifs.

Nous espérons que ce travail, entrepris avec des moyens modestes servira de base à des études ultérieures en ouvrant des perspectives sur l'originalité profonde des peuplements coralliens brésiliens et sur l'intérêt exceptionnel de la côte brésilienne comme champ d'étude du Quaternaire marin récent.

RESUMO

Este trabalho trata das populações e dos recifes de corais da costa brasileira, entre Fortaleza e Santos. As relações entre os recifes de coral e de pedra, antiguamente estudadas por HARTT (1870) e BRANNER (1904) foram tambem revistas.

O estudo das populações de agua raza mostrou a existencia de seis regiões zoogeográficas, que são, de Norte para Sul :

a) Região nortista de empobrecimento, sem recifes, do Maranhão até o Cabo São Roque.

b) Os recifes do Cabo São Roque, delgados e recentes, que foram aí estudados pela primeira vez. A fauna deles é muito pobre e o coral *Siderastrea stellata* VERRILL é a unica espécie édificadora.

c) As ilhas oceánicas : Fernando de Noronha não tem nenhum recife mais bem formações delgadas de Algas calcáreas e *Vermetidae*, a fauna coralinea é portanto bastante rica. Rocas é um recife annular com lagão razo, à base de Algas e *Vermetidae*.

d) A costa nordestina : de Natal até a foz do Rio São Francisco. A fauna é já mais rica, sendo *Mussismilia harttii* (VERRILL) e *Montastrea cavernosa* (L.) as espécies edificadoras principais. Os recifes coralineos são numerosos, lineares, compridos e paralelos à costa; são baseados em linhas de arenito marinho na profundidade de dez metros.

e) A região central (de Salvador até os Abrolhos) fica séparada da precedente por extensa região arenosa, atuando como uma barreira faunística. Esta é a zona mais rica de toda a região coralinea brasileira. A espécie édificadora principal é aqui *Mussismilia braziliensis* (VERRILL).

f) Ao sul dos Abrolhos, o empobrecimento da fauna é rápido; os ultimos corais desaparecem nas vizinhanças de Santos. Algumas « oases tropicais » podem, portanto, ser observadas em varios pontos da costa.

— A zonação biológica do declive externo dos recifes é o seguinte : crista algal e zona do *Palythoa;* Zona do *Millepora alcicornis* (L.); Zona dos *Mussismilia;* Zona do *Montastrea cavernosa* (L.).

— As populações mais profundas mostraram uma maior homogeneidade geográfica do que as de agua raza, correndo, sem maiores variações, do Maranhão até Cabo Frio; elas são uma mistura de corais de superficie, mais algumas formas sciafílicas (*Agaricia fragilis* (DANA), *Scolymia wellsi* Laborel) e corais ahermatipicos (*Madracis* spp.). Todas crescem entre 40 e 100 metres de profundidade, em fundos de Algas calcareas.

— A secunda parte deste trabalho inclui uma discussão geral da ecologia, zonação, répartição, relações zoogeográficas da fauna coralinea e uma comparação com os recifes caraibes e indo-pacíficos. Um estudo geral das variações recentes do nivel marinho é dado com a discussão dos efeitos biológicos e morphologicos das mesmas sobre as populações de corais e os recifes.

SUMMARY

This work is a general approach to the knowledge of brazilian coral populations and coral reefs between Fortaleza and Santos. Relations between coral and stone reefs, already studied by Hartt (1870) and Branner (1904) were revised.

The study of shoal water populations showed the existence of six zoogeographical subregions. From North to South these are :

a) *a Northern impoverishment region,* without any reef, from Maranhào to Cape São Roque.

b) A Cape São Roque region, where thin, recent reefs occur which were studied for the first time; their fauna is very poor and the main builder is *Siderastrea stellata* V.

c) The oceanic islands : Fernando de Noronha, though entirely devoid of coral reefs, shows a relatively rich coral fauna, but shallow water reef-growth is hindered. Rocas is entirely built by calcareous algae and Vermetids.

d) The Northeastern coast : from Natal to São Francisco River : The fauna is richer, *Mussismilia harttii* (Verrill) and *Montastrea* are the principal builders; reefs are frequent, long, linear, parallel to shore and based on stone reefs at the depth of some 6 fathoms.

e) A central region (Salvador to Abrolhos islands) separated from the preceding one by a barren sandy region which acts as a barrier in separating the faunae. This is the richest part of the brazilian coral region and the main builder is *Mussismilia braziliensis* (Verrill).

f) South of Abrolhos, the reefs disappear and the fauna dwindles gradually, actually disappearing near Santos. Some « coral oases » are neverthless to be found in some places.

Biological zonation on the outer slope is a follows; algal ridge and *Palythoa* zone; *Millepora* zone; *Mussismilia* zone and *Montastrea* zone.

Deeper water populations proved to be rather homogeneous from Maranhão to Cabo Frio and consisting of a mixture of shallow water forms, sciaphilous reef corals and ahermatypic corals on grounds of calcareous Algae.

— A second part includes a general discussion of the ecology, zonation, zoogeographical repartition and relationship of the coral fauna, with a comparison to caribbean and indo pacific coral reefs. A general study of recent variations of sea level along the coast is also included with a discussion of its biological and morphological effects on coral populations and reefs.

BIBLIOGRAPHIE

Agassiz (A.). 1895. — A visit to the Bermudas in March 1894. *Bull. Mus. comp. Zool.*, Cambridge, **26**, 2, pp. 209-281.

Almy (C. C.) et Carrion-Torres (C.). 1963. — Shallow water stony corals of Puerto-Rico. *Caribean Journ. Sci.*, **3**, 2-3, pp. 133-162, 21 pls.

Anonyme. 1959. — *Estuario do Amazonas.* VIIa Viagem do N.E. « Almirante Saldanha », Directoria de Hidrografia e de navegação, Rio de Janeiro (rapport dactylographié).

Andrade (G. O. de). 1960. — O recife anular de Rocas, um registro de recentes variações eustáticas no Atlantico equatorial. *Anais hidrogr.*, D.H.N., Rio de Janeiro, **18**, pp. 203-234.

Almeida (F. M. de). 1955. — *Geologia e petrologia do Arquipelago de Fernando de Noronha.* Div. Geol. Min. D.N.P.M., Rio de Janeiro (monographie).

— 1965. — As Ilhas oceánicas brasileiras e uma hipotese sobre a origem do Atlántico. *An. Acad. brazil. Cienc.*, Rio de Janeiro, **37**, (suplemento), pp. 141-146.

Avias (J.). 1959. — Les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. *Bull. Soc. géol. France* (7e série), **1**, 4, pp. 424-429, 2 pls.

Azevedo (A. de). 1964. — *Brasil a terra e o homen.* **I.** As bases físicas. São Paulo, Companhia Editoria national.

Balech (E.). 1949. — Estudio critico de las corrientes marinas del litoral argentino. *Physis*, Buenos Aires, **10**, 57, pp. 159-164.

— 1965. — Nuevas contribuciones a los esquemas de la circulación oceánica frente a la Argentina. *An. Acad. brasil. Cienc.*, Rio de Janeiro, **37** (suplemento), pp. 159-167.

Battistini (R.). 1964. — *Etude géomorphologique de l'extrême Sud de Madagascar.* II. Le littoral. Paris, Ed. Sujas, 544 p., 146 figs., 121 pls (Thèse).

Bayer (F. M.). 1961. — The shallow-water *Octocorallia* of the west indian region. *Studies on the Fauna of Curacao and other caribean islands*, The Hague, **55**, 373 p., 101 figs., 27 pls.

Bigarella (J. J.). 1965. — Subsidios para o estudo das variações de nivel oceanico no quaternario brasileiro. *Ann. Acad. brasil. Cienc.*, Rio de Janeiro, **37** (suplemento), pp. 263-279.

Bigarella (J. J.) et Andrade (G. O. de). 1965. — Contribution to the study of the brazilian quaternary. *Geol. Soc. America*, **84** (special paper), pp. 435-451.

Bigarella (J. J.), Salamuni (R.) et Marques (F. P. L.). 1961. — Metodo para avaliação do nivel oceánico a época da formação dos terraços de construção marinha. *Bol. Paran. Geogr.*, Curitiba, **4-5**, pp. 111-115.

Blanc (J. J.) et Molinier (Roger). 1955. Les formations organogènes construites superficielles en Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, **1067**, 25 p.

Boltovskoy (E.). 1964. — Provincias zoogeográficas de America del Sur y su sector antártico según los Foraminíferos bentónicos. *Inst. Biol. Mar.*, **7**.

— 1965. — Datos nuevos con respecto a la ubicación de la zona de convergencia subtropical subantártica en base al estudo de los Foraminíferos planctónicos. *An. Acad. brasil. Cienc.*, **37** (supl.), pp. 146-156.

Boschma (H.). 1948. — The species problem in *Millepora*. *Zool. Verhandel. Rijkmus. nat. Hist.*, Leiden, **1**, 115 p., 15 pls.

— 1961. — Notes on *Millepora braziliensis* Verrill. *Proc. Konikl. Nederl. Akad. Wetensch. Amsterdam*, **64** (C), pp. 292-296.

— 1962. — On Milleporine corals from Brazil. *Proc. Konikl. Nederl. Akad. Wetensch. Amsterdam*, **65**, pp. 302-312.

Branner (J.). 1904. — The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations, with a chapter on the corals reefs. *Bull. Mus. Comp. Zool.*, Cambridge, 44 (geological series), 7, 285 p., 99 pls.

Buchanan (J. B.). 1954. — The zoogeographical significance of the Madreporaria in the Gold Coast, West Africa. *Rev. Zool. Bot. Afr.* Tervueren, 49, (1,2), pp. 84-88.

Chevalier (J.-P.). 1961. — Recherches sur les Madréporaires et les formations récifales Miocènes de la Méditerranée occidentale. *Mém. Soc. Géol. France*, 40 (nouv. sér.), 462 p., 26 pls., 199 figs (Thèse).

— 1966. — Contribution à l'étude des Madréporaires des côtes occidentales de l'Afrique tropicale, 1 et 2, *Bull. I.F.A.N.* sér. A, n° 3, pp. 912-975, 5 pls. et n° 4, pp. 1356-1405, 3 pls.

Correia (D. D.). 1964. — *Corallimorpharia e actinaria do Atlántico oeste tropical*. São Paulo. 131 p., 16 pls.

Crossland (C.). 1927. — Recession of the tahitian coral reefs. *Nature*, London, 119, 597 p.

— 1928. — The coral reefs of Tahiti. Moorea and Rarotonga. *Journ. Linn. Soc. Zool.*, London, 36, 557 p.

— 1931. — The reduced building-power and other variations in the astrean corals of Tahiti, with a note on *Herpolitha limax* and *Fungia*. *Proc. Zool. Soc.*, London, 351 p.

Curray (J.). 1961. — Late quaternary sea level a discussion. *Geol. Soc. America Bull.*, **72**, pp. 1707-12, 2 figs.

Dana (J. D.). 1946. — Zoophytes. *U.S. expl. Exp.* (1836-1842), Philadelphie, **7**.

Darwin (C.). 1841. — On a remarkable bar of sandstone off Pernambuco on the coast of Brazil. *London, Edinburgh and Dublin phil. Magazine and Journ. Sci.*, **19** (3), 124, 2 p.

Davis (W. M.). 1923. — The marginal belts of the coral seas. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Washington, **9**, pp. 292-6.

— 1928. — The coral reef problem. *Amer. geogr. Soc., New-York*, **9**, (spec. publ.), 596 p.

Deichmann (E.). 1936. — The *Alcyonaria* of the western part of the Atlantic ocean. *Mem. Mus. comp. Zool. Harvard college*, Cambridge, **53**, 309 p., 37 pls.

Delaney (P. J. V.). 1965. — Reef rock on the coastal platform of southern Brazil and Uruguay. *An. Acad. brasileira cienc.*, **37** (supl.), pp. 306-10.

DRESCH (J.). 1957. — Colloque sur la morphologie du Nord-Est du Brésil. I. Les problèmes morphologiques du Nord-Est brésilien. *Bull. Assoc. géogr. France*, **263**, pp. 48-50.

DUNCAN (P. M.). 1890. — Madreporaria of Fernando de Noronha. *Linn. Soc. London Journ. Zool.*, **22**, pp. 569-570.

EKMAN (S.). 1953. — *Zoogeography of the sea.* London.

EMILLSON (L.). 1960. — The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Publ. I.O.U.S.P.*, São Paulo, **144**, 112 p., 3 figs.

FAIRBRIDGE (R. W.). 1958. — Dating the latest movements of the quaternary sea level. *Trans. N. Y. Acad. Sci.*, **20**, pp. 471-82.

FOREST (J.). 1966. — Campagne au large des côtes atlantiques de l'Amérique du Sud 1961-1962. Premier compte rendu et liste des stations. *Ann. Ins. océanogr.*, **44**, 7, pp. 329-50. (Résultats scientifiques des campagnes de la « Calypso »).

GIGOUT (M.). 1959. — Réflexions sur les bases du quaternaire marin. *Bull. Soc. géol. France*, **8**, (6), 24, pp. 349-363.

GINSBURG (R. N.). 1956. — Environmental relation-ships of grain size and constituent particles in some south Florida carbonate sediments. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Tulsa, **40**, 10, pp. 2384-2427.

GLIESCH (R.). 1925. — *A fauna de Torres.* (Oficinas graficas da escola de engenharia de Porto Alegre).

GOREAU (T. F.). 1959. — The ecology of jamaïcan coral reefs. I. Species composition and zonation. *Ecology*, **40**, 1, pp. 67-90.

GOREAU (T. F.). 1961. — On the relation of calcification to primary productivity in reef building organisms. *The Biology of Hydra*, pp. 269-285.

GOREAU (T. F.) et GOREAU (N. I.). 1960. Physiology of skeleton formation in corals. III. *Biol. Bull.*, **118**, 3, pp. 419-429.

GOREAU (T. F.) et HARTMAN (W. D.). 1963. — Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs. *In* Mechanisms of hard tissue destruction. *Amer. Assoc. Adv. Sci.*, Washington D.C., **75**, pp. 25-54, 16 figs.

GOREAU (T. F.) et WELLS (J. W.). 1967. — The shallow-water Scleractinia of Jamaica : revised list of species and their vertical distribution range. *Bull. Mar. Sci.*, **17**, 2, pp. 442-453.

GRABERT (H.). 1960. — Die jungtertiäre und altpleistozäne küstengestaltung Mittel-Brasiliens. *Die Erde* Berlin, **91**, 3, pp. 191-205.

GRAVIER (Ch.). 1910. — Sur la lutte pour l'existence chez les Madréporaires des récifs coralliens. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **151**, 955 p.

GREELEY (A.). 1904. — Notes on the corals collected on the Northeast coast of Brazil. *In* BRANNER (J. C.). The stone reefs of Brazil. *Bull. Mus. comp. Zool.*, Cambridge, 44 (geol. ser.), pp. 268-274.

GUILCHER (A.). 1954. — *Morphologie littorale et sous-marine.* « Orbis », Presses Universitaires, Paris.

— 1965. — *Précis d'Hydrologie marine et continentale.* Masson, Paris, 318 p., 217 figs.

GULLIVER (F. P.). 1899. — Shoreline topography. *Proc. Amer. Acad. Arts Sci.*, **34**, 8, 258 p., 31 figs.

HARTT (C. F.). 1870. — *Geology and physical geography of Brazil.* Boston.

HAWKSHAW (J. C.). 1879. Notes on the consolidated beach at Pernambuco. *Quart. Journ. geol. Soc.*, London, **35**, pp. 239-244.

HOFFMEISTER (J. E.) et MULTER (H.). 1964. — Growth rate estimates of a Pleistocene coral reef of Florida. *Geol. Soc. America Bull.*, **75**, pp. 353-358, 1 fig., 2 pls.

HOWE (M. A.). 1912. — The building of « coral » reefs. *Science*, New-York, **35**, 909, pp. 837-842.

INSTRUCTIONS NAUTIQUES. 1961. — Amérique du Sud (côte Est), Serv. hydrographique Marine, Paris.

JOLY (A. B.), CORDEIRO-MARINO (M.), UGADIM (Y.), YAMAGUISHI-TOMITA (N.), PINHEIRO (F. C.). 1965. — New marine Algae from Brazil. *Arq. Est. Biol. Mar. Univ. Ceara*, **5**, 2, pp. 79-92, 5 pls.

JOLY (A. B.), CORDEIRO-MARINO (M.), UGADIM (Y.), YAMAGUISHI-TOMITA (N.), OLIVEIRA (E. C.) et FERREIRA (M. M.). 1965. — Additions to the marine Flora of Brazil. V. *Arq. Est. Biol. Univ. Ceara*, **5**, 1, pp. 65-78, 5 pls.

JOUBIN (L.). 1912. — Cartes des bancs et récifs de coraux. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, **4**.

KAYES (C. A.) et BARGHOORN (E. S.). 1964. Late quaternary sea level change and crustal rise at Boston, Mass., with notes on the autocompaction of peat. *Geol. Soc. America Bull.*, **75**, pp. 63-80, 5 figs.

KEMPF (M.) et LABOREL (J.). 1968. — Formations de Vermets et d'Algues calcaires sur les côtes du Brésil. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, **59**, 43.

KLAPPENBACH (M. A.). 1965. — Lista preliminar de los *Mytilidae* brasileños con claves para su determinación. *An. Acad. brasil. Cienc.*, **37** (supl.), pp. 327-353.

KOLESNIKOV (A. G.), PONOMARENKO (G. P.) et BOGUSLAVSKIJ (S. G.). 1966. — En russe. Courant profond dans l'Atlantique. *Okeanologija S.S.S.R.*, **6**, 2, pp. 234-9.

KORNICKER (L. S.) et SQUIRES (D. F.). 1962. — Floating corals : a possible source of erroneous distribution data. *Limn. Oceanogr.*, **7**, 4, pp. 447-452.

KUENEN (Ph.). 1933. — Geology of coral reefs. *Snellius Exped.*, **5** (geol. results, 2).

LABOREL (J.). 1961 a. — Le concrétionnement algal « coraligène » et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, **37**, 23, pp. 37-60, 14 fig.

— 1961 b. — Sur cas particulier de concrétionnement à *Cladocora cespitosa L.* dans le Golfe de Talante. *Rapts. Proc. verb. Réun. C.I.E.S.M.M.*, **16**, 2, pp. 429-432, 3 fig.

— 1965 a. — On brazilian coral reefs. (Summary.) *An. Acad. brasil. Cienc.*, **37** (suppl.), pp. 285-259).

— 1965 b. — Note préliminaire sur les récifs de grès et récifs de coraux dans le Nord-Est brésilien. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, **53**, 37, pp. 341-44.

— 1966. — Contribution à l'étude des Madréporaires des Bermudes (systématique et répartition). *Bull. Mus. nat. Hist. nat.*, **38** (2e sér.), 3, pp. 281-300, 7 fig.

— 1967. — A revised list of brazilian Scleractinian corals and description of a new species. *Postilla*, Peabody Mus. nat. Hist., New Haven, **107**, 14 p., 1 pl.

LABOREL-DEGUEN (F.). 1963. — Nota preliminar sobre a ecologia das pradarias de Fanerógamas marinhas nas costas dos estados de Pernambuco e da Paraiba. *Trab. I.B.M.O.U.R.*, Recife, **3**, 1, pp. 39-50, 3 fig.

LALOU (C.), LABEYRIE (J.) et DELIBRIAS (G.). 1966. — Datation des calcaires coralliens de l'Atoll de Mururoa (Archipel des Tuamotu) de l'époque actuelle jusqu'à —500 000 ans. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (série D), **263**, pp. 1946-1949.

LAUBIER (L.). 1966. — *Le coralligène des Albères, monographie biocénotique.* (Thèse Sc. Nat. Paris)) Masson, pp. 137-316.

LEWIS (J. B.). 1960. — The coral reefs and coral communities of Barbados (West Indies). *Canad. Journ. Zool.*, **38**, pp. 1133-1145.

MABESOONE (J. M.). 1964. — Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (North-eastern Brazil). *Journ. Sed. Petrol.*, **34**, 4, pp. 715-726, 7 fig.

MC FARLAN (E. Jr.). 1961. — Radiocarbon dating of late Quaternary deposits, South Louisiana. *Bull. Geol. Soc. America*, **72**, pp. 129-158, 9 fig.

MANTON (S. M.) et STEPHENSON (T. A.). 1935. — Ecological surveys of coral reefs. *Sci. Rept. Great Barrier Reef Exped. 1928-29, Brit. Mus. Nat. Hist.*, **3**, 10, pp. 273-312.

MARDEN (Luis). 1968. — The Friendly Isles of Tonga. *National Geographic*, **133**, pp. 345.

MATTHAI (G.). 1919. On *Favia conferta* Verrill, with notes on other atlantic species of *Favia*. *British Antarctic « Terra Nova » Exped. Brit. Mus. Nat. Hist.*, **5**, pp. 69-93, 1 fig., 2 pl.

MENZIES (R. J.). 1966. — A submerged reef off North Carolina. *Internation. Rev. Ges. Hydrobiol. Dtsch.*, **51**, 3, pp. 393-431.

MOLINIER (Roger) et PICARD (J.). 1952. — Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.*, **27**, 3, pp. 157-234.

— — 1953. — Notes biologiques à propos d'un voyage d'étude sur les côtes de Sicile. *Ann. Inst. Océanogr.*, 28 (nouv. sér.), 4, pp. 164-187.

MOREIRA DA SILVA (P. de C.). 1965. — Problemas da Circulação oceánica nas aguas brasileiras. Resumo.) *An. Acad. brasil. Cienc.*, **37** (suppl.), pp. 157-159.

MOORE (D. R.). 1958. — Notes on Blanquilla reef, the most northerly coral formation in the Western Gulf of Mexico. *Inst. Mar. Sci.*, Miami, **5**, pp. 151-155.

MOSELEY (H. N.). 1881. — Deep sea Madreporaria. *Scient. Rep. Res. Voyage H.M.S. « Challenger »*, Zoology, **2**, pp. 122-208, 16 pl.

NESTEROFF (W. D.). 1954. — Sur la formation des grès de plage ou « beach rocks » en Mer Rouge. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **238**, pp. 2547-2548.

NESTEROFF (W. D.). 1956 a. — Le substratum organique dans les dépôts calcaires, sa signification. *Bull. Soc. Géol. France*, **6**, pp. 381-390.

— 1956 b. — Érosion et sédimentation des calcaires dans les eaux des mers tropicales. *20e Congr. Géol. Int. Mexico.*

— 1965 a. — Recherches sur les sédiments marins actuels de la région d'Antibes. *Ann. Inst. Océanogr.* (nouv. sér.), **43**, 1, 136 p., 55 fig.

— 1965 b. — Sur l'état de développement des Madréporaires des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie. *C. R. Acad. Sci, Paris*, **260**, pp. 2278-2279

NEUMANN (C. A.). 1965. — Processes of recent carbonate sedimentation in Harrington Sound, Bermuda. *Bull. Mars. Ss.*, **15**, 4, pp. 987-1035, 13 fig.

— 1965. — *Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the Sponge Cliona lampa.* (Polycop.) Lehigh University, pp. 1-18.

Okuda (T.). 1960. — Chemical oceanography in the South Atlantic Ocean, adjacent to North Eastern Brazil. *Trab. I.B.M.O.,* Univ. Recife, **2**, 1, pp. 155-175, 18 fig.

Ottmann (F.). 1958. — Les formations pliocènes et quaternaires sur le littoral corse. (Thèse Paris, 1957.) *Mém. Soc. Géol. France* (nouv. sér.), **84**, pp. 1-178.

— 1959. — Estudo das amostras de fundo recolhidas pelo N.E. « Almirante Saldanha » na região da Embocadura do Rio Amazonas. *Trab. I.B.M.O.,* Univ. Recife, **1**, 1, pp. 77-107.

— 1960 a. — Une hypothèse sur l'origine des « arrecifes » du Nordeste brésilien. *C. R. Som. Soc. Géol. France,* **7**, pp. 175-176.

— 1960 b. — A propos des crues du Capibaribe. *Trab. I.B.M.O.,* Univ. Recife, **2**, 1, pp. 261-266.

— 1963. — L' « Atoll das Rocas » dans l'Atlantique Sud tropical. *Rev. Géogr. phys. géol. dyn.* (2), **5**, fasc. 2, pp. 101-107.

— 1965. — *Introduction à la Géologie marine et littorale.* Masson, Paris, 259 p.

Ottmann (F.) et Nobrega-Coutinho (P.). 1963. — Études sédimentologiques dans le port de Recife (Brésil). *Cahiers océanogr.,* 15e année, **3**, pp. 161-169.

Pérès (J.-M.). 1961. — *Océanographie biologique et Biologie marine* (I. La vie benthique). Presses Universitaire de France, Paris.

Pérès (J.-M.) et Picard (J.). 1956. — Recherches sur les peuplements benthiques du seuil siculo-tunisien. *Res. scient. Camp. « Calypso »,* fasc. 2, *Ann. Inst. Océanogr.,* **32**, pp. 233-264, 20 fig.

Picard (J.). 1967. — Essai de classement des grands types de peuplements marins benthiques tropicaux d'après les observations effectuées dans les parages de Tuléar (SW de Madagascar). *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume,* **4** (hors série, suppl. 6).

Pichon (M.). 1964. — Contribution à l'étude de la répartition des Madréporaires sur le récif de Tuléar, Madagascar. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume* (hors série, suppl. 2).

Ponomarenko (G. P.). 1965. — Découverte d'un contre-courant profond à l'Équateur dans l'Ouest Atlantique à bord du navire de recherches « Mikaïl Lomonosov ». *Okeanolog. inledov.,* **13** (en russe).

Pourtales (L. F. de). 1871. — Deep-sea corals. *Illus. Cat. Mus. Comp. Zool.,* Cambridge, **8**.

— 1874. — Zoological results of the « Hassler » expedition. I. *Echini,* Crinoïds and corals. *Illus. Cat. Mus. Comp. Zool.,* Cambridge, **8**, 33 p.

Ranson (G.). 1955. — Observations sur les principaux agents de la dissolution du calcaire sous-marin dans la zone côtière des îles coralliennes de l'Archipel des Tuamotu. *C. R. Acad. Sci.,* Paris, **240**, 806 p.

— 1958. — Coraux et récifs coralliens (Bibliographie). *Bull. Inst. Océanogr.,* Monaco, **1121**, pp. 1-80.

— 1962. — *Missions dans le Pacifique, Récifs coralliens, Huîtres perlières.* Paris, éd. Lechevallier, 96 p., 9 fig., 47 pl.

— 1966. — Biologie des coraux. *Cahiers du Pacifique.* **9**, pp. 29-45.

Rathbun (R.). 1876. — Extinct coral reef at Bahia. *Amer. Natur.,* **10**, pp. 439-440.

— 1878. — Notes on the coral reefs of the island of Itaparica, Bahia, and of Parahyba do Norte. *Proc. Boston Soc. Nat. Hist.*, **20**, pp. 39-41.

— 1879. — Brazilian corals and coral reefs. *Amer. Natur.*, **13**, 9, pp. 539-551.

Rebouças (A. da Cunha). 1962. — *Repartição dos sedimentos da Baia de Tamandaré.* (Rapport dactylographié.) Escola de Geologia de Pernambuco, Recife.

Rattray (A.). 1871. — On the geology of Fernando de Noronha. *Roy. Geol. Soc. London Quart. Journ.*, **5**, 27, pp. 31-34.

Ridley (H. N.). 1890. — Notes on the geology of Fernando de Noronha. *Linn. Journ. Soc. Bot.*, **27**, pp. 86-90.

— 1891. — Raised reefs of Fernando de Noronha. *Amer. Journ. Sci.* (3e série), **41**, pp. 406-409.

Roos (P. J.). 1964. — The distribution of reef corals in Curaçao. *Studies on the fauna of Curaçao and other caribean islands.* La Hague, **20**, 81, 57 p., 13 pl.

Rossi (L.). 1961. — XV. Études sur le seuil siculo-tunisien. 6. Madréporaires. Campagnes de la « Calypso » (août, septembre 1954). *Res. Scient. Camp. « Calypso »*, fasc. 5, *Ann. Inst. Océanogr.*, **39**, pp. 33-48.

Shier (D. E.). 1965. — Vermetid reefs and coastal development in southwest Florida. *Dissert. Abstracts*, U.S.A., **26**, 3, pp. 1594-1595.

Spix (J. B. von) et Martius (C. F. P. von). 1828. — *Reise in Brasilien.* München.

Squires (D.). 1958. — Stony corals from the vicinity of Bimini, Bahamas, British West Indies. *Bull. America Mus. Nat. Hist.*, **115**, 4.

Stephenson (T. A.), Stephenson (A.), Tandy (G.) et Spender (M.). 1931. — The structure and ecology of Low Isles and other reefs. *Scient. Repts. Great. Barrier reef Exped. 192-1929. Brit. Mus. Nat. Hist.*, **3**, 2.

Stephenson (T. A.) et Stephenson (A.). 1954. — The Bermuda Islands. *Endeavour*, **50**, pp. 72-80.

Storr (J. F.). 1964. — Ecology and oceanography of the coral reef tract, Abaco island, Bahamas. *Geol. Soc. America (special papers)*, **79**, 93 p., 16 fig., 8 pl.

Sverdrup (J. U.), Johnson (N. W.) et Fleming (R. H.). 1946. — *The Oceans, their physics, chemistry and general biology.* New York.

Talbot (F. H.). 1965. — The coral structure of Tutia reef (Tanganyka territory, East Africa) and its fish fauna. *Proc. Zool. Soc. London*, **145**, 4, pp. 431-470.

Taylor (W. R.). 1960. — Marine Algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas. *Univers. Michigan Studies, Scient. Series*, **21**, 870 p.

Thommeret (J.) et Thommeret (Y.). 1964. — Validité de la datation des sédiments du proche Ouaternaire par le dosage du Carbone 14 dans les coquilles. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions de la C.I.E.S.M.*, 28, 3, pp. 837-843.

— — 1965. — Quelques limitations à la méthode du Carbone 14 pour la datation des coquilles. *Bull. Mus. Anthropol. préhist. Monaco*, **12**, pp. 17-21.

Tommasi (L. R.). 1965. — Faunistic provinces of the Western south Atlantic littoral region. (Summary.) *An. Acad. brasil. Cienc.*, **37** (supl.), pp. 261-263.

Tracey (J. L. Jr.), Ladd (H. S.) et Hoffmeister (J. E.). 1948. — Reefs of Bikini, Marshall Islands. *Bull. Geol. Soc. America,* **59**, pp. 861-878.

Tricart (J.). 1959. — Problèmes géomorphologiques du littoral oriental du Brésil. *Cahiers Océanogr.,* **2**, pp. 276-358.

Van Andel (T.) et Laborel (J.). 1964. — Recent high relative sea level stand near Recife Brazil. *Science,* **3632**, pp. 580-581.

Vasseur (P.). 1964. — Contribution à l'étude bionomique des peuplements sciaphiles infralittoraux de substrat dur dans les récifs de Tuléar, Madagascar. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume* (hors série, suppl. 2), 77 p.

Vaughan (T. W.). 1901. — The stony corals of Porto Rican waters. *Bull. U.S. Comm. Fish.,* Washington, **2**, pp. 289-320.

1906. — A new species from *Coenocyathus* from California and the brazilian astrangid corals. *Proc. U.S. nat. Mus. nat. Hist.,* Washington, 30.

1915. — The geologic significance of the growth rate of the floridian and Bahaman shoal-water corals. *Journ. Washington Acad. Sciences,* **5**, pp. 591-600.

1916. — The present status of the investigation of the origin of barrier coral reefs. *Bull. Geol. Soc. of America,* Ser. 4, **41**, pp. 131-135.

1919. — Fossil corals from Central America, Cuba and Porto Rico, with an account of the american tertiary, pleistocene and recent coral reefs. *Bull. U.S. nat. Mus. nat. Hist.,* Washington, **103**, pp. 189-524, pl. 68-152.

1924. — The ecology and growth rate of corals. *Proc. 2nd Pan Pacific Sci. Congress. Australia, 1923,* Melbourne, **2**, pp. 1128-1131.

Verrill (A. E.). 1868. — Notes on the Radiata in the Museum of Yale College. 4. Notes of corals and Echinoderms collected by Prof. C. F. Hartt at the Abrolhos reefs, province of Bahia, Brazil. *Trans. Connecticut Acad. Arts and Sci.,* New Haven, **1**, pp. 351-371.

1902 a. — Variation and nomenclature of bermudian, west indian and brazilian reef corals; with notes on various indo-pacific corals. *Ibid.,* **11**, 1, 3, pp. 63-168.

1902 b. — Comparisons of the bermudian, west indian and brazilian coral faunae. *Ibid.,* **11**, pp. 169-206, 25 pl.

1906. — The Bermuda Islands (5). *Ibid.,* **12**, pp. 1-348.

1912. — The Gorgonians of the brazilian coast. *Journ. Acad. Nat. Sci. Philadelphia,* **15** (2nd. series), pp. 373-404, 35 pl.

Waring (G. A.). 1914. — Reef formation on the Northeast coast of Brazil. *Amer. Journ. Sci.,* (4), **221**, pp. 367-390.

Wells (J. W.). 1954. — Recent corals of the Marshall Islands. *U. S. Geol. Survey, prof. papers,* Washington, **260**, 1, 385 p.

1957. — Coral reefs. *in* Treatise on marine ecology and paleoecology (Vol. 1). *Mem. Geol. Soc. America,* **67**.

Williams (L. G.) et Blomquist (H. L.). 1947. — A collection of marine Algae from Brazil. *Bull. Torrey Bot. Club,* **74**, 5, pp. 383-397.

Yonge (C. M.). 1935. — Studies on the biology of Tortugas corals. I, Observations on *Meandra areolata* Linn. *Pap. Tortugas Lab. Carnegie Inst.,* Washington, **29**, pp. 185-198.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 7
CONDITIONS ET METHODES DE TRAVAIL 11
PRESENTATION GENERALE DES COTES BRESILIENNES 13
ETUDE DES PEUPLEMENTS CORALLIENS 27

Première Partie

A) Généralités 27
B) Etude régionale 31
Chapitre 1. Région septentrionale d'appauvrissement superficiel 31
Chapitre 2. Région du Cap São Roque 33
Chapitre 3. Les Iles océaniques, Fernando de Noronha, Rocas 39
Chapitre 4. La « côte des arrecifes », de Natal au Rio São Francisco 51
Chapitre 5. Les côtes de l'Etat de Bahia et les Abrolhos. 117
Chapitre 6. Appauvrissements et disparition des peuplements coralliens 143
C) Répartition des madréporaires sur la plate-forme continentale 149

Deuxième Partie

Chapitre 1 Problèmes faunistiques et zoogéographiques. 159
Chapitre 2 Problèmes écologiques et bionomiques 177
Chapitre 3 Edification et évolution des formations coralliennes 205
Chapitre 4 Les variations récentes du niveau marin . . 229
Chapitre 5 Essai de reconstitution des phénomènes récifaux récents 241
Conclusions 246
Resumo 251
Summary 252
Bibliographie 253
Table des matières 261

PUBLICATIONS DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN

Annales de l'Université

Série A : DROIT

Série B : MÉDECINE
paru : 4 fascicules (1965, 1968, 1969, 1970).

Série C : SCIENCES
paru : 5 fascicules (1965, 1966, 1967, 1968, 1969);
sous presse : 1 fascicule (1970).

Série D : LETTRES
paru : 2 fascicules (1965, 1969);
sous presse : 1 fascicule (1970).

Série E : ÉCOLOGIE
paru : 3 fascicules (1968), 3 fascicules (1969);
sous presse : 1 fascicule (1970).

Série F : ETHNO-SOCIOLOGIE
paru : 2 fascicules (1969), 1 fascicule (1970).

Série G : GÉOGRAPHIE
paru : 2 fascicules (1969);
sous presse : 2 fascicules (1970).

Série H : LINGUISTIQUE
paru : 1 fascicule (1968);
sous presse : 1 fascicule (1969), 1 fascicule (1970).

Bulletin de liaison du Centre Universitaire de Recherches de Développement

paru : 1967/1 - 1967/2 - 1968/1 - 1968/2 - 1969/1 - 1969/2.
sous presse : 1970/1.

Revue Ivoirienne de Droit (Éditée par C.E.D.A.).

paru : 4 fascicules (1969);
sous presse : 1 fascicule (1970).

Lois et Décrets de Côte-d'Ivoire,
par J.-B. Blaise et J. Mourgeon (*paru*). Ouvrage édité par Librairies Techniques, honoré d'une subvention de l'Université.

Introduction à la Biologie Africaine

paru : 1 fascicule (1968) — Morphologie externe et interne du Crapaud africain *Bufo regularis* Reuss 1834, par M. Thireau et E. Marolle.

Actes du 8e Congrès de Linguistique Africaine *(sous presse).*

Institutions internationales régionales en Afrique Occidentale et Centrale,
par F. Wodié (*paru*). Ouvrage édité par la Librairie Générale de Droit et de Jurisprudence, honoré d'une subvention de l'Université.

Pour tous renseignements concernant les publications de l'Université d'Abidjan, s'adresser à :

F. COHIC
Secrétaire Général aux Publications
Directeur Adjoint de l'Institut d'Écologie Tropicale
Université d'ABIDJAN
B. P. V. 34.
ABIDJAN (République de Côte-d'Ivoire)

Université d'Abidjan, B. P. V. 34, Abidjan.
Dépôt légal — 4e trimestre 1970

ACHEVE D'IMPRIMER SUR LES PRESSES
DE J F - EDITIONS - IMPRESSIONS
14, RUE IDRAC - 31-TOULOUSE - 8410-11-1970